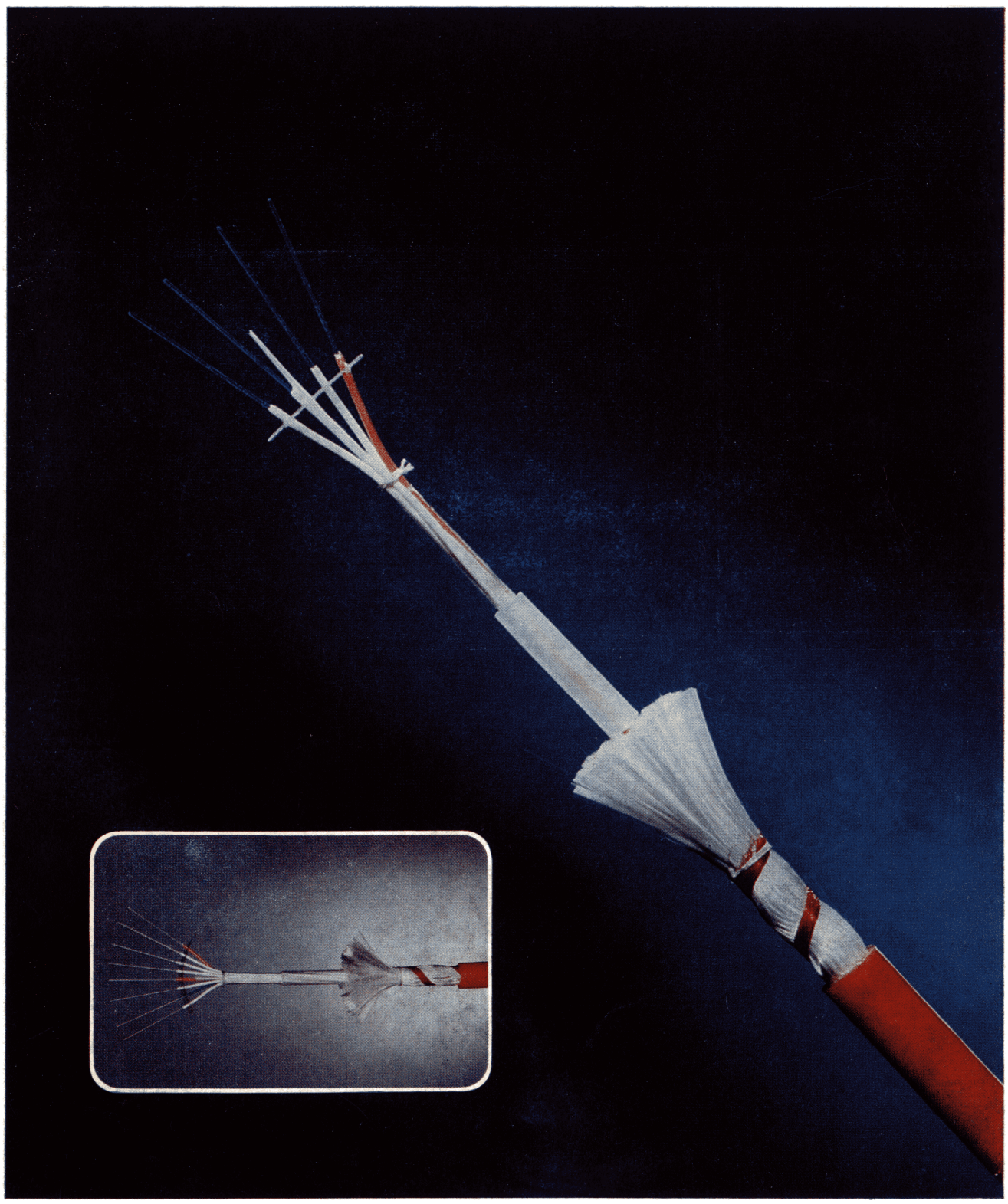
ELEKTRIE 4|85

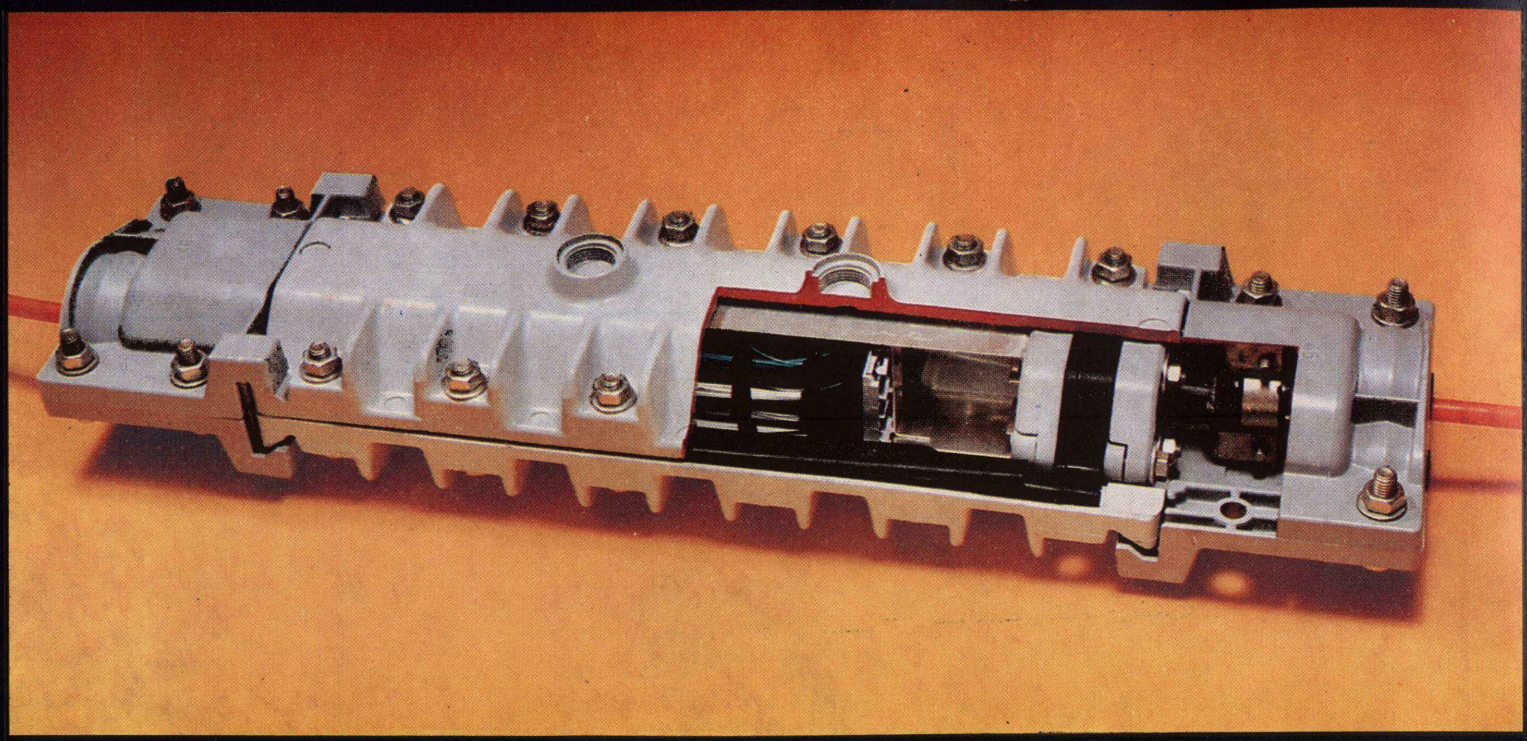
VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013–5399

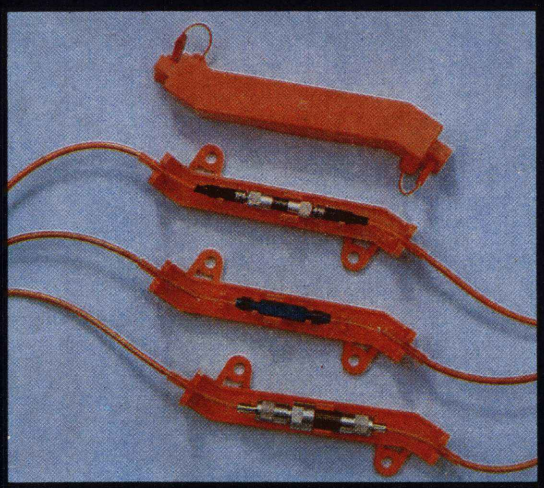


KWO

Lichtwellenleitertechnik

0120305





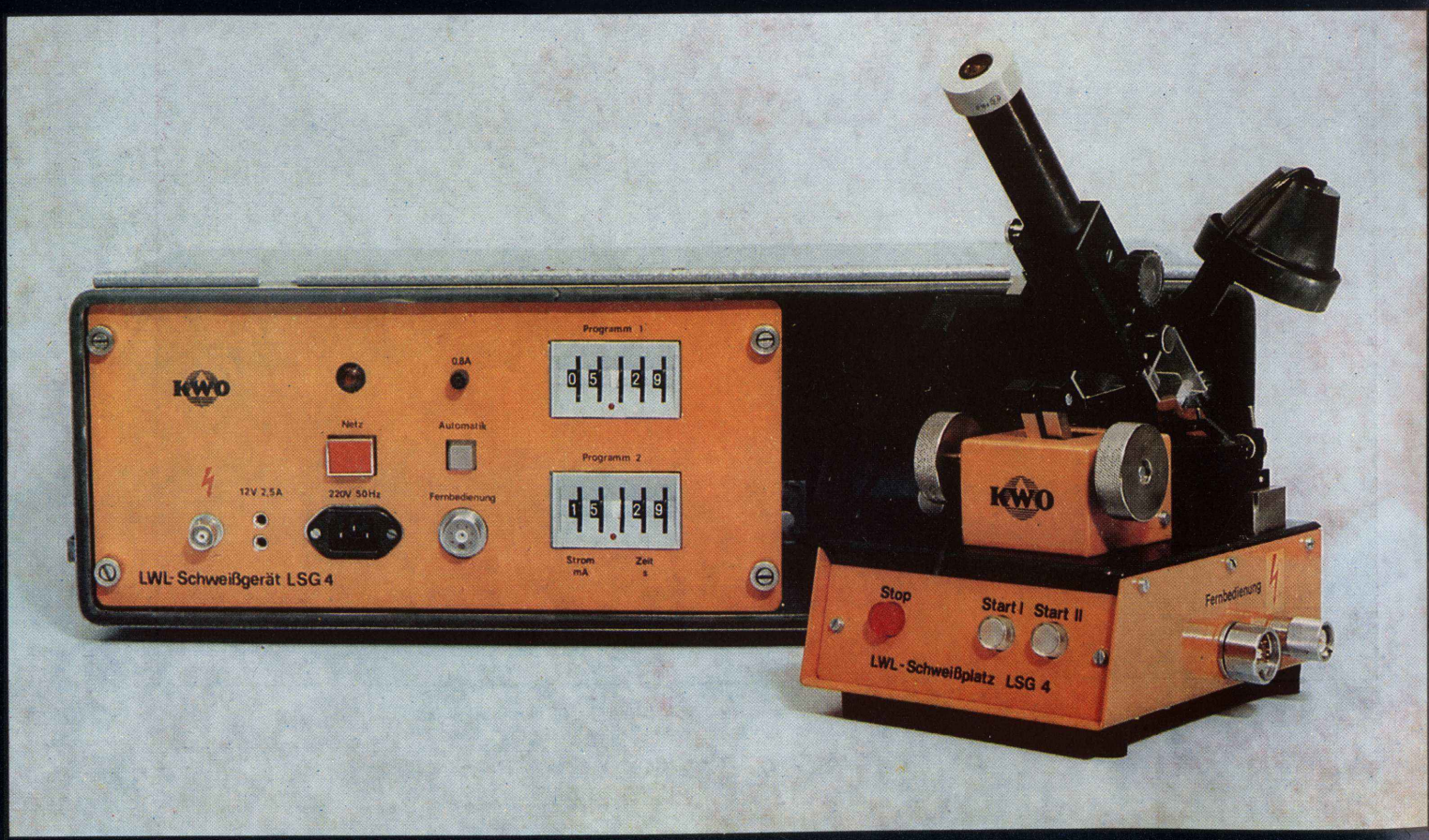
Lichtwellenleiter-Verbindungstechnik aus dem Kombinat VEB KWO Berlin

Näheres dazu finden Sie in unseren Beiträgen auf S. 140 bis 143 und auf S. 148. Beachten Sie auch die 3. US.

Bild 1. (oben) Verbindungsmuffe LM 4 nach TGL 55153 für 4adrige LWL-Kabel

Bild 2. (links) Schutzmuffe LMS 1 nach TGL 55153, bestückt mit Steckverbindungen und Schutzhülse für nichtlösbare Verbindungen

Bild 3. (unten) Lichtwellenleiter-Schweißgerät LSG 4



4|85 ELEKTRIE

39. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013–5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Silberne Plakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. H.-J. Mau · Prof. Dr. phil. habil. G. Mierdel · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hanella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden · Dipl.-Ing. W. Knuth, Berlin

Titelbild

Sowohl für die Kurzstreckenübertragung in Elektroenergiesystemen als auch für die Nachrichtenübertragung ist die Lichtwellenleitertechnik besonders geeignet, bei ständig steigenden Informationsmengen und äußerst geringen Signalpegeln den hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Störfreiheit der Ubertragung gerecht zu werden.
Für unterschiedliche Einsatzbedingungen und Anwendungsgebiete ist im Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck" Berlin eine Typenreihe entwickelt worden, die Lichtwellenleiterkabel mit zunächst bis zu 16 Lichtwellenleitern umfaßt.
Typische Vertreter dieser Reihe sind die im Titelbild gezeigten 4- bzw. 8adrigen LWL-Kabel.
Mehr zu den speziellen Eigenschaften der Lichtwellenleiterkabel des Kombinats finden Sie in unserem Beitrag auf S. 148 dieses Heftes, dessen Hauptteil ausschließlich den Fragen der Lichtwellenleitertechnik gewidmet ist.

Fotos: Werkfoto

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Inhaltsverzeichnis

Seite

Aktuelle Information 122

Engelage, D.; Schimke, F.
Lichtwellenleiter in der Elektroenergieversorgung 123

Henke, C.
Miteinander arbeiten und voneinander lernen 124

Fachaufsätze

Engelage, D.
Lichtwellenleiter-Informationssystem der Elektroenergieversorgung 125

Birkenstock, N.
Bidirektionale Mehrlichtwellenleitersysteme 126

Tischer, K.
Beeinflussung von Lichtwellenleiterstrecken in Energieanlagen 129

Spangenberg, P.
Fehleranalyse an Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken in Elektroenergieanlagen 132

Hart, H.
Möglichkeiten und Probleme lichtwellenleiter-kompatibler Sensoren für nichtoptische Größen 134

Brode, F.
Lichtwellenleiter für Kurzstreckenübertragung 138

Brunke, W.
Lichtwellenleiter-Verbindungstechnik 140

Brode, F.
Methoden zur reproduzierbaren Messung von Vielmoden-Lichtwellenleitern 143

Wurbs, G.; Kuka, G.
Interferometrische Prüfung von Lichtwellenleiter-Preformen 147

Fischer, F.; Retzlaff, W.
Simulation von Schaltungen der Leistungselektronik mit Hilfe programmierbarer Kleinstrechner, Teil 4 und Schluß 149

Umschau

Lichtwellenleiterkabel und -Verbindungstechnik aus dem Kombinat KWO Berlin 148

Diskussionsbeiträge der DDR-Teilnehmer während der 30. Session der CIGRE in Paris 1984 (Fortsetzung) 154

Bücher 158

AKTUELLE INFORMATION

Programmierbare Steuerungen für den Einsatz in Starkstromanlagen

Fachtagung

Zeit: 13. Juni 1985
Ort: Kreiskulturhaus Hohenstein-Ernstthal, Logenstr.
Veranstalter: Bezirksfachausschuß „Elektrotechnische Anlagen" der KDT, BV Karl-Marx-Stadt gemeinsam mit den Betriebssektionen der KDT im VEB Numerik „Karl Marx" Karl-Marx-Stadt, im Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke „Friedrich Ebert" — Zentrum für Forschung und Technologie — Berlin, im VEB Textima-Elektronik Karl-Marx-Stadt

Inhaltliche Schwerpunkte

— Einführung in die programmierbare Steuerung
— Darstellung der Steuerungssysteme PS 2000 und PC 600 des VEB Numerik „Karl-Marx"
— Die speicherprogrammierbaren Steuerungen des Kombinates EAW „Friedrich Ebert"
— Mikrorechnersteuerungen MRS 700 — eine neue Generation der programmierbaren Steuerungen
— Vorbereitung von Mikrorechnersteuerungen im Textilmaschinenbau

Anfragen

Kammer der Technik
BV Karl-Marx-Stadt
Tagungsorganisation, Tel. 62141
9010 Karl-Marx-Stadt
PSF 504
G. Heliosch, Karl-Marx-Stadt EA 1959

Stochastische Bemessung von Transformatoren

Lehrgang

Zeit: 24. bis 28. Juni 1985
Ort: IH Wismar
Veranstalter: Kombinatsakademie (Bildungseinrichtung Zörbig) des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau

Inhaltliche Schwerpunkte

— Ausgewählte Grundfragen der Stochastik
— Zufallsverhalten von Belastungen und deren statische Charakteristika
— Einführung ingenieurtechnischer Methoden
— Vergleich mit genauen Verfahren mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation
— Risikobetrachtungen

Anfragen

Bildungseinrichtung Zörbig
4415 Zörbig
Stumsdorfer Str. 3
Tel.: Zörbig 385
K.-D. Krüger, Berlin EA 1958

Optelektronische Sensoren und Kameras für die Roboter- und Automatisierungstechnik

Lehrgang

Zeit: 2. bis 6. September 1985
Ort: Suhl
Veranstalter: Bezirksvorstand Suhl der KDT

Inhaltliche Schwerpunkte

Prinzipieller Aufbau von optoelektronischen Sensoren; Klassifizierung der Empfängerbauelemente; Verfügbare CCD-Zeilen und Kameras; Aufbau und Anwendung der Kameras ZFK 1020, LK 256/1, MK 211; Aufbau und Anwendung der Kopfsteuerleiterplatte KSP 3000 mit den Kameraköpfen LKK 256 und LKK 1024; Einsatzmöglichkeiten von CCD-Kameras in Verbindung mit Industrierobotern der 2. Generation; Vorführung praxiserprobter Einsatzfälle für CCD-Kameras; Beleuchtungsprobleme beim Einsatz von CCD-Kameras; Strategie der Bilderkennung/Bildverarbeitung; Praktikum

Anfragen

Bezirksvorstand Suhl, Tel.: 24341; 22494; 22495
M. Lorenz, Suhl EA 1985

Rechnergesteuerte Antriebe für die Roboter- und Automatisierungstechnik

Lehrgang

Zeit: 17. bis 21. September 1985
Ort: Suhl
Veranstalter: Bezirksverband Suhl der KDT

Inhaltliche Schwerpunkte

Grundbegriffe der Antriebstechnik und Systemtheorie; Struktur-Funktionszusammenhang; Gütekriterien von Antrieben; Berechnung linearer kontinuierlicher und diskontinuierlicher Antriebssysteme; Beschreibung von Antriebssystemen im Zustandsraum; Beispiele rechnergesteuerter Antriebe; Projektierung von Antriebssystemen; Modularisierung von Antrieben; Entwicklungstendenzen und Einfluß der Mikroelektronik auf die Antriebstechnik

Anfragen

Bezirksvorstand Suhl der KDT
Tel.: 22341; 22494; 22495
M. Lorenz, Suhl EA 1954

Automatisierung der Teilefertigung und der Montage in der Gerätetechnik

Lehrgang

Zeit: 4. bis 8. November 1985
Ort: Suhl
Veranstalter: Bezirksvorstand Suhl der KDT

Inhaltliche Schwerpunkte

Grundlagen der automatisierten Fertigung; Automatisierung konventioneller und nichtkonventioneller Feinbearbeitungsverfahren unter besonderer Berücksichtigung stoffschlüssiger Fügeverfahren; Grundlagen der Fertigungsprozeßanalyse in Teilefertigung und Montage; Methoden der Baugruppenmontage; selektive Präzisionsmontage; Modellfälle flexibler, automatischer Baugruppenmontagè mittels Industrieroboter; Einsatzvorbereitung und Einrichtungen für die automatisierte Montage; Ausführungsbeispiele

Anfragen

Bezirksvorstand Suhl der KDT
Tel. 22341; 22494; 22495
M. Lorenz, Suhl EA 1955

Polymere Werkstoffe in der Elektrotechnik

5. Fachtagung Werkstoffe der Elektrotechnik

Zeit: 5. und 6. Februar 1986
Ort: Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt
Veranstalter: Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, Sektion Chemie und Werkstofftechnik

Mit der *5. Fachtagung* wird die erfolgreiche Veranstaltungsreihe fortgesetzt, die im Turnus von zwei Jahren durchgeführt wird.

Inhaltliche Schwerpunkte

— Polymere Werkstoffgruppen der Elektrotechnik
— Struktur und Eigenschaften — Plastographie
— Polymere als Konstruktionswerkstoffe
— Leitende und halbleitende Polymere
— Strahleneinwirkung auf Polymere
— Polymere zur Isolierung von Kabeln
— Geschäumte Kabelisolierungen
— Polymere für Kondensatoren
— Polymere Basiswerkstoffe der Mikroelektronik
— Polymere mit speziellen Eigenschaften

Anfragen

Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt
Sektion Chemie und Werkstofftechnik, Sektionsdirektor Prof. Dr. sc. nat. *Günter Marx*
9001 Karl-Marx-Stadt
Straße der Nationen 62
G. Marx, Karl-Marx-Stadt EA 1943

Grundlagenuntersuchungen für Errichtung und Betrieb von Kernenergieanlagen

XVII. Kraftwerkstechnisches Kolloquium

Zeit: 15. und 16. Oktober 1985
Ort: Dresden
Plenarsaal des Dresdner Rathauses
Veranstalter: Sektion Energieumwandlung der Technischen Universität Dresden gemeinsam mit der wissenschaftlichen Sektion Elektroenergie der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Energiewirtschaft, dem wissenschaftlichen Rat des Forschungsprogramms „Ingenieurwissenschaftliche Grundlagen der Energiewirtschaft" des Ministeriums für das Hoch- und Fachschulwesen und dem Industriezweigaktiv Kraftwerksanlagenbau der KDT

Anfragen

Technische Universität Dresden
Sektion Energieumwandlung
Prof. Dr. rer. nat. *E. Adam*
8027 Dresden
Mommsenstr. 13
Tel.: 463 4472 oder 463 5308
E. Rippl; H. G. Weidlich; Dresden EA 1960

Lichtwellenleiter in der Elektroenergieversorgung

Von

Prof. Dr.-Ing. Dieter Engelage
Leiter des WB Informations- und Automatisierungstechnik der Elektroenergieversorgung an der IH Zittau und Vorsitzender des SC 34 der CIGRE

Dr. rer. nat. Fred Schimke, NPT,
Direktor für Forschung und Entwicklung im Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree „Wilhelm Pieck" Berlin

Mit den Fortschritten auf dem Gebiet der Mikroelektronik stiegen die Anforderungen sowohl an die zuverlässige Signalübertragung als auch an die Menge der je Zeiteinheit zu übertragenden Informationen. Das gilt für die Kommunikationstechnik zwischen den Menschen selbst, in Mensch-Maschine-Systemen sowie in Computer-Prozeß-Systemen.

Die Miniaturisierung der Mikroelektronik führte zu äußerst niedrigen elektrischen Signalpegeln, die in den industriellen Systemen bei digitaler Technik mit unterschiedlichen Bit-Raten über extrem kurze Entfernungen von Zentimetern und Metern bis zu Hunderten von Kilometern z. B. bei der Nachrichten- und Fernwirktechnik zu übertragen sind.

Bei der Erschließung des optischen Bereichs des elektromagnetischen Spektrums mit Wellenlängen von etwa 800 bis 1600 nm wirkte die Mikroelektronik gewissermaßen als Katalysator zur beschleunigten Entwicklung und Anwendung der Lichtwellenleitertechnik.

Dieser Entwicklungstendenz folgend, wurden in Verbindung mit dem Mikroelektronik-Programm der DDR rechtzeitig die erforderlichen Maßnahmen zur Einsatzvorbereitung der Lichtwellenleitertechnik und der dazu notwendigen optisch-elektrischen und elektrisch-optischen Signalwandler auf Halbleiterbasis getroffen.

Die wissenschaftliche Koordinierung begann mit einer vom Institut für Nachrichtentechnik geleiteten Arbeitsgemeinschaft Lichtleiternachrichtenübertragung, die aufgrund der enormen volkswirtschaftlichen Bedeutung in Form eines Staatsauftrages fortgesetzt wurde. Als eine wissenschaftlich und technologisch komplizierte Aufgabe erwies sich die Entwicklung und Produktion von Lichtwellenleitern mit geringen Dämpfungen bis zu einigen dB.

Das vom Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree „Wilhelm Pieck" langfristig mit Kooperationspartnern aus der Industrie, der Akademie der Wissenschaften und dem Hochschulwesen sowie aus der UdSSR angelegte Konzept für die Forschung und Entwicklung schuf die Voraussetzungen zur Fertigung von Lichtwellenleitern. Zu Ehren des 30. Jahrestages der DDR wurde im Jahre 1979 in Berlin eine Versuchsanlage mit einer Länge von 16 km für die Deutsche Post in Betrieb genommen.

Für die Kurzstreckenübertragung werden unterdessen vom Kombinat VEB KWO ein- und mehradrige Kabel kommerziell vertrieben. An zahlreichen Objekten, die mit KWO-LWL-Kabeln ausgerüstet sind, wurde die Zuverlässigkeit dieser neuen Übertragungstechnik über Jahre nachgewiesen. Dazu kommen Geräte für die Verbindungstechnik und Garnituren.

Damit zählte die DDR zu den wenigen Ländern, die die technologischen Voraussetzungen zur Entwicklung und Produktion von Komponenten und Systemen der Lichtwellenleitertechnik — mit Sendern, Empfängern und Lichtwellenleitern — geschaffen hatte.

Der Lichtwellenleiter-Pilotanlage vom Jahre 1979 in Berlin folgten viele weitere Anwendungen in der Nachrichtentechnik und der industriellen Automatisierung, die hier nicht alle genannt werden können.

Einige besondere Eigenschaften des Lichtwellenleiters — seine elektrische Isolationsfähigkeit, seine Resistenz gegen ionisierende Strahlung (Kernstrahlung), seine elektromagnetische Beeinflussungsfreiheit — machen den Einsatz für die Meß- und Automatisierungstechnik im Elektroenergieversorgungssystem für konventionelle als auch für Kernkraftwerke, für Umspannwerke, für das Elektroenergieverteilungs- und -verbrauchersystem äußerst aktuell.

Entsprechend den Einschätzungen internationaler wissenschaftlich-technischer Organisationen, z. B. der Studienkomitees SC 34 und SC 35 der CIGRE sowie der IFAC, wird sich in Verbindung mit der notwendigen Anwendung digitaler mikroelektronischer Meß- und Automatisierungssysteme der Einsatz der Lichtwellenleiter im Gebiet der Elektroenergieversorgung durchsetzen. Deshalb widmen sich in sozialistischen und kapitalistischen Ländern viele Forschungs- und Industrieunternehmen der Elektroenergetik, Kernenergetik sowie der Gas- und Wärmeenergetik mit großem Potential dem Einsatz dieser Technik. Die Systeme sind durch große räumliche Dimensionen und spezielle Umweltbelastungen gekennzeichnet und erfordern den Einsatz der Lichtwellenleiter auf zwei Gebieten:

Signalübertragung zur Nachrichtentechnik über große Entfernungen (Lichtwellenleiter-Nachrichtenübertragungstechnik) und zur Prozeßautomatisierung im Meter- und Kilometerbereich (Lichtwellenleiter-Kurzstreckentechnik).

Als ein Beispiel sei hier das vom VEB Starkstromanlagenbau „Otto Buchwitz" Dresden entwickelte Hochspannungsschaltanlagen-Informationssystem SIS/HS unter Verwendung von Mikrorechnern und Lichtwellenleitern genannt.

Aus diesen Anforderungen der Energetik heraus begannen entsprechende Arbeiten an der Ingenieurhochschule Zittau, in dessen Ergebnis z. B. im Jahre 1979 Mikrorechnerkopplungen mit Lichtwellenleitern für Elektroenergieanlagen vorgestellt worden sind.

In den an der IH Zittau stattfindenden Wissenschaftlichen Konferenzen werden aktuelle Probleme und Erfahrungen zur Lichtwellentechnik in der Elektroenergieversorgung behandelt, um dieser volkswirtschaftlich effektiven Technologie — besonders bezüglich der Kupfereinsparung — schnell zum Durchbruch zu verhelfen.

Die diesjährige VII. Wissenschaftliche Konferenz für Energiewirtschaft findet vom 16. bis 18. April 1985 in Zittau statt und steht unter dem Leitthema „Wissenschaftlich-technischer Fortschritt in der Energiewirtschaft".

Mit den in diesem Heft vorliegenden Beiträgen zu ausgewählten Gebieten der Herstellung und Anwendung von Lichtwellenleitern werden die in den Konferenzunterlagen vorliegenden Materialien zur Session III, Themenkreis Lichtwellenleitertechnik, sinnvoll ergänzt. EA 1919

Miteinander arbeiten und voneinander lernen

Zur Zusammenarbeit der Kabelindustrie der DDR und der UdSSR

C. Henke, Berlin

Einen Höhepunkt in den traditionellen Beziehungen der Kabelindustrie der DDR zur UdSSR bildete die 35. Tagung der Paritätischen Regierungskommission für ökonomische und wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit DDR-UdSSR vom 10. bis 14. Dezember 1984. Bei einem Besuch im Stammbetrieb des Kombinates VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck" erörterten die beiden Vorsitzenden, der Kandidat des Politbüros des Zentralkomitees der SED *Gerhard Schürer*, Stellvertretender des Vorsitzenden des Ministerrates der DDR, und das Mitglied des Zentralkomitees der KPdSU *Alexej Antonov*, Stellvertreter des Vorsitzenden des Ministerrates der UdSSR, Möglichkeiten für den weiteren Ausbau der Kooperations- und Lieferbeziehungen der Kabelindustrien beider Länder. Im Vordergrund der Gespräche, an denen auch der Minister für Elektrotechnik und Elektronik, Genosse *Felix Meier*, sowie weitere führende Persönlichkeiten der DDR und der UdSSR teilnahmen, stand die Realisierung der gemeinsamen Abkommen und Vereinbarungen insbesondere auf dem Gebiet der Nachrichtenübertragungstechnik.

Alexej Antonov sagte, mit seinen Erzeugnissen sei das KWO auf vielen Baustellen in der Sowjetunion vertreten und trage somit zur Entwicklung der UdSSR-Industrie bei. Die enge Zusammenarbeit von Wissenschaftlern beider Länder werde es ermöglichen, fortgeschrittene Technologien der Kabelindustrie noch schneller zum Nutzen der sozialistischen Gemeinschaft in der Praxis wirksam zu machen. Die hohen Gäste überzeugten sich anhand neuer Erzeugnisse, Ausrüstungen und Technologien vom hohen Entwicklungsstand der Lichtwellenleiterkabel-Produktion einschließlich der dazugehörigen Verbindungstechnik.

Gerhard Schürer verwies in diesem Zusammenhang auf die Feststellung der 9. Tagung des Zentralkomitees der SED, das Zusammenwirken mit der UdSSR schaffe günstige Bedingungen, um den wachsenden Erfordernissen der wissenschaftlich-technischen Revolution zu entsprechen und wesentliche Effektivitätsreserven zu erschließen.

Die Zusammenarbeit zwischen den Kabelindustrien der DDR und der UdSSR ist ein anschaulicher Beweis für die an Umfang und Qualität sich vertiefenden Beziehungen beider Länder. Gestützt auf das hohe wissenschaftlich-technische Potential der sowjetischen Kabelindustrie und auf wachsende eigene Leistungen des Kombinates hat sich eine stabile Forschungskooperation herausgebildet. Sie prägt in zunehmendem Maße die industrielle Kooperation und die Struktur des Handels. So entwickeln sich erfolgreich die Beziehungen zwischen dem Unions-Forschungs-, Projektierungs-, Konstruktions- und Technologie-Institut für die Kabelindustrie (WNIIKP) der UdSSR in Moskau und Forschungseinrichtungen des Kombinates. Arbeitsteilig durchgeführte F/E-Aufgaben führten u. a. zur Produktion von freitragenden Starkstrom- und Fernmeldekabeln, zu neuen Erkenntnissen des Einsatzes kryoresistiver und supraleitender Kabel.

Einen besonderen Schwerpunkt bildet die Entwicklung neuer Leitersysteme, z. B. der Al/Cu-Verbundleiter oder auch der Lichtwellenleiter.

In enger Zusammenarbeit mit sowjetischen Forschungseinrichtungen und dem DDR-Chemieanlagenbau wurden in kürzester Zeit ein „kältebeständiges 1-kV-Plastkabel" entwickelt, das eine Goldmedaille des Leipziger Messeamtes erhielt. Dieses Spitzenerzeugnis wird vorwiegend für Anlagen in den Kältegebieten Sibiriens eingesetzt.

Im Rahmen der mit der sowjetischen Kabelindustrie abgestimmten Erzeugnisspezialisierung bezieht unsere Republik u. a. Höchstspannungskabel für 220 und 380 kV, Elektrofilterkabel für unsere Kraftwerke sowie Bohrlochmeßkabel für geophysische Bodenerkundungen.

Die Sowjetunion war, ist und bleibt der größte internationale Partner unseres Kombinates. Von ihr erhält es den Hauptanteil der Importmaterialien, und sie ist gleichzeitig auch größter Abnehmer der verschiedensten Kabelerzeugnisse. In den Jahren seit 1955 wurde der Export in die UdSSR um das 2,5fache gesteigert. Wöchentlich verläßt ein RoRo-Schiff den Überseehafen Rostock in Richtung Riga, beladen mit Kabeln und Leitungen aus dem Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck".

Die auf der 35. Tagung der Paritätischen Regierungskommission für ökonomische und wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit zwischen der UdSSR und der DDR geschlossenen Regierungs- und Ministervereinbarungen zeigen die Grundrichtung für die weitere Vertiefung der Kooperation.

Die festgelegten Schwerpunkte bieten auch für unser Kombinat große Entwicklungsmöglichkeiten. Sie stellen aber auch zunehmend anspruchsvollere Anforderungen an die eigene Leistungsfähigkeit. Im Vordergrund steht dabei die verstärkte Ausrichtung des Exportes auf den Bedarf unseres Haupthandelspartners. Höchstes wissenschaftlich-technisches Niveau der Kabelerzeugnisse, eine solide Standardqualität und die zuverlässige Erfüllung der abgegebenen Verpflichtungen sind dabei Grundbedingungen für einen Absatz auf lange Sicht.

Zu Ehren des 40. Jahrestages des Sieges über den Hitlerfaschismus und der Befreiung des deutschen Volkes haben sich die Kabelwerker in den Kampfprogrammen der Betriebsparteiorganisationen und den Wettbewerbsbeschlüssen der gewerkschaftlichen Vertrauensleute für 1985 verpflichtet, die Exportaufträge für die UdSSR bis zum 30. 11. 1985 zu realisieren. Hohe Plan- und Vertragsdisziplin werden sichern, daß auch in Zukunft Kabel und Leitungen aus der Deutschen Demokratischen Republik unser Land eng und zuverlässig mit dem Lande Lenins verbinden.

C. Henke, Berlin EA 1921

Bild 1. Besuch des Genossen *Alexej Antonov*, Mitglied des Zentralkomitees der KPdSU und Stellvertreter des Vorsitzenden des Ministerrates der UdSSR, im KWO. Mitarbeiter des KWO erläutern dem hohen Gast den fortgeschrittenen Stand der Lichtwellenleitertechnik im KWO.
Auf unserem Foto (von rechts nach links): Gen. *Schürer;* Gen. *Adolph*, Generaldirektor des Kombinates; Gen. *Meier*, Minister für Elektrotechnik/Elektronik. In der Bildmitte Gen. *Antonov*; links im Vordergrund Gen. Dr. *Schimke*, Entwicklungsdirektor des KWO.

Lichtwellenleiter-Informationssystem der Elektroenergieversorgung

D. Engelage, KDT, Zittau

Zur Versorgung der Industrie, der gesellschaftlichen Bedarfsträger und der Bevölkerung existiert in den industriell entwickelten Ländern ein umfangreiches Netz der Verteilung von Elektroenergie auf verschiedenen Spannungsebenen. Die Kopplung des Systems von Freileitungen und Kabeln zur Elektroenergieverteilung mit den Aufgaben der Prozeßdatenübertragung und der Kommunikation war schon jeher eine Zielstellung ingenieurwissenschaftlicher Arbeit, wobei auch Teilerfolge erzielt wurden. Der wesentliche Nachteil bestand jedoch in der Störbeeinflussung von dem energetischen auf den informationellen Kanal sowie in der erforderlichen Potentialtrennung und den sich daraus ergebenden Aufwendungen für Gegenmaßnahmen. Die Entwicklung von Lichtwellenleitern mit einer ausgezeichneten Hochspannungsfestigkeit und der im betrachteten Anwendungsgebiet gegebenen Unempfindlichkeit gegen elektromagnetische Beeinflussungen führte zur Möglichkeit, die Kombination der Elektroenergieübertragung mit der Informationsübertragung bei hohen Spannungen qualitativ neu zu gestalten [1] [2] [3].

1. Elektroenergieübertragungs-Freileitungen und -Kabel mit Lichtwellenleitern

Die bisherigen Anwendungsbeispiele als Pilotanlagen gehen davon aus, daß an das bestehende Hochspannungs-Freileitungssystem bzw. in den gleichen Kabelkanälen Einzel- bzw. Bündellichtwellenleiter verlegt wurden [1]. Neuere Entwicklungen, besonders in Japan [4], führten zur Herstellung von Kabeln und Freileitungen, die nach verschiedenen technologischen Prinzipien einen oder mehrere Lichtwellenleiter im konstruktiven Aufbau beinhalten.
Als Beispiel sei eine Blitzschutzleitung mit Lichtwellenleitern im Freileitungssystem genannt [4]. Das unter dem Namen OPGW bekannte Seil wird in zwei Typen mit einem Querschnitt von 44, 80, 140 und 300 mm² produziert (Bild 1). Im Mittelpunkt befinden sich 4 Lichtwellenleiter, die in einer speziellen elastischen Anordnung gelagert sind. Um den Lichtwellenleiter herum sind für den Querschnitt von 80 mm² zylindrische Alu-Leiter angeordnet. Für den Querschnitt von 300 mm² sind um die vierdrahtige Lichtwellenleiter-Anordnung insgesamt 18 Alu-Leiter angeordnet.

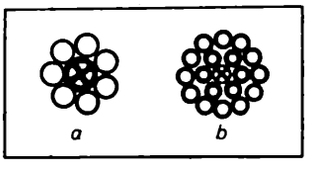


Bild 1. Querschnitt eines Freileitungsseils mit 4 Lichtwellenleitern
a) Querschnitt 80 mm²
b) Querschnitt 300 mm²

Vorteile dieses Seils mit Lichtwellenleitern sind:
- Nachrichten- und Datenübertragung mit hoher Kapazität und Zuverlässigkeit unter Verwendung von Lichtwellenleitern mit extrem geringen Verlusten und hoher Bandbreite
- leichte Ausführung und störfreie Signalübertragung
- ökonomisches System der Kopplung zwischen Signalübertragung und Elektroenergieübertragung im Echtzeitbetrieb.

Weitere Merkmale
- Ein spiralförmig geführtes Alu-Seil umgibt das Lichtleitersystem und gewährleistet extreme Belastungen unter den praktischen Bedingungen.
- Zur Erhöhung der thermischen Belastbarkeit des OPGW von etwa −50 °C bis 150 °C wurden die Lichtwellenleiter mit speziellen wärmefesten Materialien umgeben.
- Die Lichtwellenleiter wurden mit speziellen Behandlungsmethoden so produziert, daß eine hohe Lebensdauer, mindestens 30 Jahre, und eine geringe Längsveränderung auftreten.
- Grundsätzlich werden Multimoden-Gradienten-Lichtwellenleiter eingesetzt.
  Die Abmessungen des Lichtwellenleiters sind für den Kern 50 µm und für den Mantel 125 µm.

Die maximale Dämpfung für die verwendete Wellenlänge von 1,3 µm wird mit 1,0 dB/km angegeben. Die minimale Bandbreite für verschiedene Kabeltypen beträgt 600 MHz · km.

Weitere Parameter für die OPGW: Parameter	80 mm²	300 mm²
Außendurchmesser in mm	12,4	21,1
Masse in kg/km	552	1264
Minimale Bruchfestigkeit in kg	9260	16440
Elastizitätsmodul in kg/mm²	14600	105000
Wärmekoeffizient · 10^{-6}/°C	13	16
Gleichstromwiderstand in Ω/km	0,954	0,167
Arbeitstemperaturen in °C	− 50 bis 100 Maximum 200	− 50 bis 150 Maximum 300

2. Lichtwellenleiter-Informationssystem zur Überwachung und Instandhaltung von Freileitungen

Als Beispiel zur Anwendung der Blitzschutzleitung, die mit Lichtwellenleitern hergestellt worden ist, sei das nachfolgend beschriebene Instandhaltungs-Informationssystem für Freileitungen genannt [5] [6].
Das Erdungsseil mit Lichtwellenleiter ist an der Spitze der Freileitungsmasten als Maßnahme gegen atmosphäre Entladungen angeordnet. Die im Inneren befindlichen Lichtwellenleiter haben folgende Grundfunktionen:
- Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung
- Erfassung und Übertragung von Instandhaltungs-Informationen.

Das System besitzt folgende Merkmale:
- Es werden 4 Lichtwellenleiter in dem OPGW verwendet.
  2 Lichtwellenleiter werden zur Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung und 2 Lichtwellenleiter werden zur Übertragung von Instandhaltungs-Informationen verwendet.
- Zur Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung wird die Wellenlängenmultiplexmethode angewendet.
- Zur Übertragung der Instandhaltungs-Informationen wird ein Lichtwellenleiter für die industrielle Fernsehübertragung verwendet.
- Die Signale der Sensoren zur Instandhaltung werden in optische Signale unmittelbar umgewandelt, um sie vor Störungen durch andere elektrische Einwirkungen und vor Rauscheffekten zu schützen.
- Ein Signalkanal für die Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung ist ausschließlich für die Übertragung von Fernsehsignalen reserviert.

Als spezielle Komponenten des Informationssystems zur Instandhaltung wurden eine Reihe von Elementen entwickelt, um wichtige Daten zu erfassen:

Windsensoren; Regenfallsensoren; Temperatursensoren; Sensoren zur Messung des elektrischen Überschlages an Isolationsstrecken; Sicherheitsstromversorgung.

Weitere Komponenten dieses Systems sind die Lokalstation an jedem Freileitungsmast, die Überwachungssysteme für das Instandhaltungs-Fernsehen, das Informationserfassungssystem (Bild 2). Eine solche Versuchsanlage von etwa 6 km Länge wurde in Japan realisiert [6]. Eine durch Solarzellen aufladbare Batterie gewährleistet für einen möglichen Defekt des Solarzellensystems eine Weiterführung des Betriebes von etwa 30 Tagen.
Die Daten zur Instandhaltung werden in Abhängigkeit von äußeren Bedingungen und von der Geschwindigkeit der Änderungen der Parameter von den Sensoren automatisch erfaßt und durch einen Computer im Umspannwerk ausgewertet und gespeichert.

3. Komplexes überregionales mit der Elektroenergieversorgung gekoppeltes Lichtwellenleiter-Informationssystem

Die zukünftige weitergehende Entwicklung von Elektroenergieübertragungs-Kabeln und -Freileitungen mit Lichtwellenleitern wird zu einer verstärkten Integration von Elektroenergie- und Informationstransport führen.
Die bisher erzielten Ergebnisse theoretischer und experimenteller Untersuchungen [6] auf einigen Teilgebieten für Prozeßdaten und Instandhaltungsinformationen der Elektroenergieübertragung be-

Prof. Dr.-Ing. *Dieter Engelage* ist Leiter des Wissenschaftsbereiches Informations- und Automatisierungstechnik an der IH Zittau.

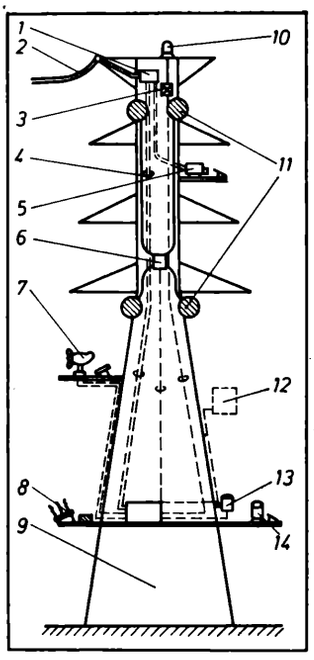


Bild 2. Lokale Station auf einem Freileitungsmast für Instandhaltungsinformationen und für ein komplexes Lichtwellenleiterinformationssystem

1 Lichtwellenleiter-Verzweigungsgehäuse
2 Erdungsseil mit Lichtwellenleitern
3 Fehlersignalisation
4 Lichtleiter
5 steuerbare Fernsehkamera
6 Sensor für elektrischen Überschlag
7 Sensor für Windrichtung und -geschwindigkeit
8 Solarbatterie
9 Lokale Station
10 Leuchtsignal
11 Meßspulensystem
12 Anschlußmöglichkeit für weitere Sensoren
13 Sensor für Temperaturen
14 Sensor für Regenwasser

rechtigen zur Schlußfolgerung, daß überregionale komplexe Lichtwellenleiterinformationssysteme mit dem Netz der Elektroenergieverteilung effektiver gekoppelt werden können. Folgende Hauptrichtungen solcher Lichtwellenleiter-Informationssysteme sind möglich:

- Informationsübertragung zwischen Umspannwerken, z. B.
  - — Überwachungs- und Steuerungssignale für verschiedene Betriebszustände des Elektroenergiesystems
  - — Schutzsignalübertragung für Freileitungsschutz
  - — automatische Kontrolle und Steuerung von unbemannten Umspannwerken
- Betrieb und Instandhaltung verschiedener Anlagen und Objekte, z. B.
  - — Temperaturüberwachung von Kontakten
  - — Bestimmung defekter Isolatoren
  - — Isolationsfestigkeiten verschiedener Baugruppen
  - — automatische Bestimmung von verschiedenen Parametern der Übertragungsleitungen
  - — Sicherheitsinspektion und Überprüfung (z. B. Transformatoren)
  - — Überprüfung der Freileitungsmasten
  - — Kurzschlußlokalisationssignale
- Anwendung für Dienstleistungsinformationen, z. B.
  - — Fernseh- und Rundfunksignale
  - — Beobachtung verschiedener Gebiete, Flüsse, Schneefallgebiete, Verkehrszustände
  - — meteorologische Daten
  - — Signalgeber für die Flugzeuge
  - — Ortsinformationen
  - — Feuer- und Brandsignale
  - — Kopplung von überregionalen Computernetzen.

Auch bei einzelnen mobilen Objekten, wie Förderbrücken, Bagger, wird die Integration von Elektroenergie- und Informationstransport in einem Hochspannungskabel mit Lichtwellenleitern ökonomisch, da separate metallische Leitungen für Steuerungs- und Kommunikationssignale entfallen. So wird z. B. ein Schaufelradbagger [7] mit einem 10-kV-Kabel, das 6 Gradienten-Lichtwellenleiter besitzt, elektroenergetisch und informationell versorgt. Die Übertragung der Prozeßdaten erfolgt über serielle Kopplungen einer speicherprogrammierten Steuerung.

Literatur

[1] *Spieß, A.; Herrmann, B.:* Optische Nachrichtenübertragung in der Elektrizitätsversorgung. Brown Boverie Mitt. 70 (1983) 5/6
[2] *Engelage, D.:* Optische Signalübertragung in Energie- und Automatisierungsanlagen. Energietechnik, Leipzig 33 (1983) 11, S. 423–429
[3] *Smar, E. R.:* PP & L studies optical shield wire. Transmission and Distribution, New York, Okt. 1983, S. 38–42
[4] Fiber optic overhead ground wire (OPGW). Sumitomo Electric Industries LTD, Japan 1983
[5] *Ihara, S.:* Equipments for maintenance information system. Sumitomo Electric Industries LTD, Japan 1983
[6] *Ihara, S.;* u. a.: Optical communication system with composite fiber-optic ground wire. Sumitomo Electric Industries LTD, Japan 1984
[7] Hochspannungstrasse mit integrierten Lichtwellenleitern. Elektronik 17 (1984) S. 24

EA 5548

Bidirektionale Mehrlichtwellenleitersysteme

N. Birkenstock, KDT, Zittau

Nachdem die LWL-Kurzstreckensysteme einen relativ hohen Entwicklungsstand erreicht hatten, begann vor einigen Jahren der verstärkte Einsatz in Leit- und Automatisierungssystemen im industriellen Bereich. Eine Aufgabe bestand in der Realisierung einer Lichtwellenleiter-Datenübertragung durch zwei Mikrorechner zwischen einem Hochspannungsschaltfeld und der Warte in einem Umspannwerk. Diese Verbindung dient u. a. der Übertragung von Meßwerten und Zustandsmeldungen vom Feld zur Warte und von Schaltbefehlen aus der Warte zum Feld. Bisher erfolgte diese Datenübertragung zur Realisierung der Funktionen: Messung, Steuerung, Regelung, Überwachung, Schutz mit konventionellen elektromagnetischen bzw. elektromechanischen Wirkprinzipien über eine Vielzahl paralleler elektrischer Informationsleitungen. Mit der Einführung neuer elektronischer, mikroelektronischer und rechentechnischer Lösungen werden an die Signalübertragung qualitative und quantitativ neue Anforderungen gestellt. Durch die Reduzierung der vielen parallelen Kanäle auf einen seriellen Kanal (Lichtwellenleiter) mit einer vergleichsweise höheren Kapazität wachsen die Anforderungen an die Zuverlässigkeit beträchtlich. Aus diesem Grund ist es notwendig, für die Signalübertragung Schaltfeld — Warte und zurück redundante Komponenten einzusetzen [1]. Die Notwendigkeit dieser Redundanzen wird im wesentlichen durch die Wirkung der folgenden Mechanismen begründet:

- — transiente Störungseinflüsse auf die übertragenen Daten (hervorgerufen meist durch äußere Störfelder, in geringem Maß auch durch systemeigene Wirkungen)
- — Ausfälle systeminterner Baugruppen mit statischem Charakter.

Bei der noch zu beschreibenden Datenübertragungsanordnung schützt man die Daten vor nicht erkennbaren Verfälschungen infolge von Fehlern der 1. Gruppe dadurch, daß redundante Kodes verwendet werden. Die Übertragung erfolgt blockweise, wobei zur Fehlersicherung ein zyklischer Kode mit dem HDLC-Polynom $(p\,(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1)$ eingesetzt wird. Sollte diese Art von Redundanz zum Schutz vor unerkannten Störungen nicht ausreichen, so wird zum Beispiel bei der Übertragung von Schaltbefehlen auf eine Mehrfachübertragung zurückgegriffen. Diese 1. Gruppe wird in [2] ausführlich behandelt und soll aus den weiteren Betrachtungen zum Ausfall von systeminternen Baugruppen ausgeklammert werden.

1. Bidirektionales Lichtwellenleiter-Übertragungssystem

Auf der Basis von zwei unidirektionalen Lichtwellenleiterstrecken wurde 1981 ein Datenübertragungssystem entwickelt und aufgebaut [3], das die Grundlage für die weiteren Untersuchungen bildet. Dieses System wurde durch den Einsatz von optischen Verzweigungselementen in ein bidirektional und halbduplex arbeitendes System umgewandelt (Bild 1). Die dargestellte Struktur verdeutlicht in schematischer Form den Aufbau. Die optischen Verzweigungselemente sind in [1] ausführlich dargestellt. Die Datenein- und -ausgabe in bzw. aus den Mikrorechnern wird in üblicher Weise über den seriellen Ein/Ausgabeschaltkreis U 856 (SIO) realisiert. Eine detaillierte Beschreibung enthält [3]. Die Rechnerbaugruppen werden durch ein optisches Interface komplettiert, welches den Koder, Dekoder, Taktregenerator und die optischen Sender und Empfänger beinhaltet.
In kurzer Form sollen die wichtigsten technischen Parameter dargestellt werden:

— *optische Parameter:*

Wellenlänge	810 nm
Sendediode	VQ 170
Empfangsdiode	SP 107
Sendeleistung	$P_s \geqq 50\ \mu W$
Empfängerempfindlichkeit ($p_F < 10^{-7}$)	$P_E \leqq 50$ nW
Lichtwellenleiterkabel	4YZY 1 × 1 S 2/3 (200 µm — stepindex)

Dipl.-Ing. *Norbert Birkenstock* ist wissenschaftlicher Assistent an der Ingenieurhochschule Zittau.

— *elektrische Parameter:*

Datenbitrate	$V_{\ddot{u}} = 0{,}5$ MBd
Blocklänge	20 ··· 30 Byte
Zykluszeit (entspricht 16 Abtast./ Periode)	1,25 ms
Kodierung	Bi-Phasen-Kode.

Die im Bild 1 dargestellte Grundvariante *1 Ab* erfüllt die Forderungen an die Zuverlässigkeit nicht, so daß in [1] 15 verschiedene Systemvarianten mit redundanten Baugruppen erarbeitet und untersucht wurden, von denen im folgenden 3 ausgewählte Varianten vorgestellt werden.

2. Ausgewählte Systemvarianten

Bei der Erarbeitung der Varianten wurde grundsätzlich vom Prinzip der dezentralen, dynamischen und funktionsbeteiligten Redundanz ausgegangen.
Dabei wurden zwei Hauptrichtungen gewählt, die einmal durch die redundante Auslegung der optischen Komponenten und einmal durch die Redundanz der Mikrorechner gekennzeichnet sind. Die Variante *1Bb*, die mit 2 Lichtwellenleitern arbeitet, ist im Bild 2 dargestellt. Entsprechend der funktionsbeteiligten Redundanz ist ein Vorzugsrichtungssinn der Übertragung der Information vorgesehen, der nur bei Ausfällen von Baugruppen verlassen wird, in der Darstellung durch Pfeile markiert.
Die Umschaltung des Richtungssinnes bzw. der bidirektionale Betrieb über einen der beiden Lichtwellenleiter wird durch die Software der Mikrorechner organisiert, wenn durch Testroutinen permanente Übertragungsstörungen festgestellt werden.
Bei der Variante *2Ab* wird das bereits genannte Grundsystem *1Ab* zum Teilsystem eines 4-Mikrorechner-Systems. Die Arbeitsweise dieser Variante ist analog *1Bb*. Der Vorzugsrichtungssinn ist im Bild 3 wiederum durch Pfeile markiert. Als Besonderheit dieser Variante ist die Möglichkeit des Vollduplexbetriebes zu nennen, die bisher wegen der hohen Ein-/Ausgabegeschwindigkeit von 0,5 M Bd und der zu geringen Richtdämpfung der optischen Verzweigerelemente nicht in Betracht kam, siehe dazu [1].
Eine Untersuchung verschiedener Systemstrukturen wurde hauptsächlich notwendig, weil das Ausfallverhalten der relativ neuen optischen Baugruppen noch nicht vollständig bekannt ist und weil die bestehenden Sicherheitsforderungen für die Übertragung sehr hoch sind.

Ausfallraten der Komponenten

Mikrorechner (ZRE)	$x_1 = 1{,}6 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$
SIO/DMA (ohne Ports)	$x_2 = 0{,}6 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{h}^{-1}$
Port A oder Port B	$x_3 = 1{,}0 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{h}^{-1}$
Koder und Sender	$x_4 = 1{,}3 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{h}^{-1}$
Empfänger und Dekoder/ Taktregenerator	$x_5 = 0{,}1 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{h}^{-1}$
Lichtleiter (mittlere Länge: 1000 m)	$x_6 = 0{,}9 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{h}^{-1}$
optischer Verzweiger	$x_7 = 0{,}1 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{h}^{-1}$

Um eine möglichst gute Aussage aus den Berechnungen zu gewinnen, wurden für die Reparaturzeiten folgende Werte festgelegt:

Reparaturraten

$t_{rep} = 2$ h	$x_8 = 0{,}5 \quad \mathrm{h}^{-1}$
$t_{rep} = 4$ h	$x_8 = 2{,}5 \cdot 10^{-1}\ \mathrm{h}^{-1}$
$t_{rep} = 8$ h	$x_8 = 1{,}25 \cdot 10^{-1}\ \mathrm{h}^{-1}$
$t_{rep} = 16$ h	$x_8 = 6{,}25 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{h}^{-1}$

3. Mathematische Ermittlung des Parameters Nichtverfügbarkeit

3.1. Grundlagen

Zur mathematischen Beschreibung der Systemvarianten wurden Markov-Modelle herangezogen. Eine genaue Darstellung der Theorie und der Randbedingungen enthalten [4] [5].
Zunächst werden für die einzelnen Varianten mögliche Betriebszustände $Z_i\ (i = 1 \cdots n)$ festgelegt und die Übergänge zwischen diesen Zuständen durch einen Zustandsgraphen beschrieben. Nach der Markovschen Theorie wird die Wahrscheinlichkeit
$a_{ij}\ (i, j = 1 \cdots n)$ des Überganges von einem in den anderen Zustand $(Z_1 \rightarrow Z_2)$ durch die Ausfallraten x der beteiligten Komponenten und die für eine Reparatur notwendige Zeit bestimmt. Aus der Struktur der Varianten, ihrem Ausfallverhalten und den ange-

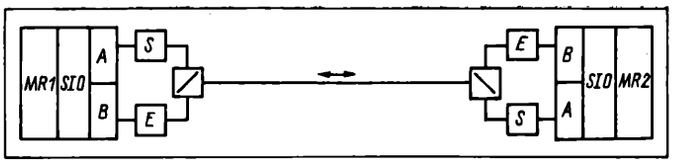


Bild 1. Systemvariante *1 Ab*

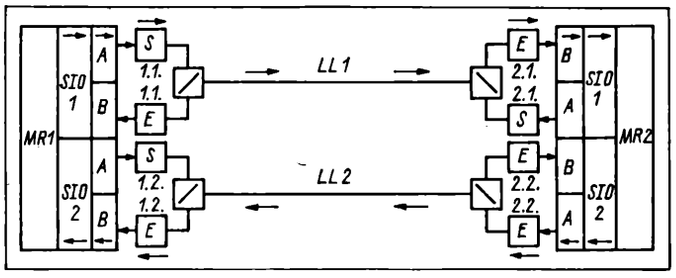


Bild 2. Systemvariante *1 Bb*

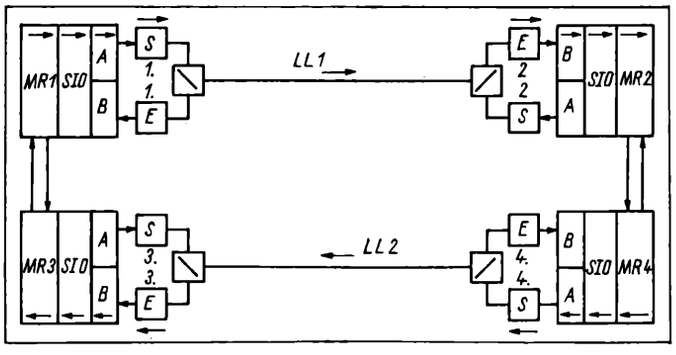
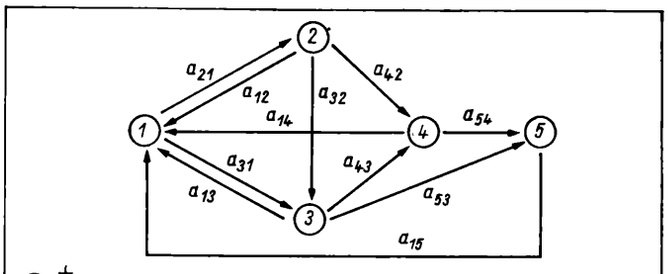


Bild 3a. Systemvariante *2 Ab* ▲ **Bild 3b.** Zustandsgraph, Variante *2Ab* ▼



① + *System arbeitet vollständig* — bi vdx
② + *einer der beiden möglichen Richtungssinne ist gestört (Ausfall: S,E,P)* — bi vdx
③ + *System arbeitet über einen LL* — bi vdx
④ *System arbeitet unidirektional* — uni
⑤ *Systemausfall*

Bild 3c. Ermittlung der Übergangsintensitäten, Variante 2 *Ab*

	x_1 MR	x_2 SIO	x_3 P	x_4 S	x_5 E	x'_6 LL/ST	x_8 REP	
$a_{21} =$			$8x_3$	$+4x_4$	$+4x_5$			$= 1{,}36 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$
$a_{31} =$	$4x_1$	$+4x_2$	$+$			$2x'_6$		$= 6{,}86 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$
$a_{32} =$	$2x_1$	$+2x_2$	$+2x_3$	$+x_4$	$+x_5$	$+x'_6$		$= 3{,}77 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$
$a_{42} =$	$2x_1$	$+2x_2$	$+2x_3$	$+x_4$	$+x_5$	$+x'_6$		$= 3{,}77 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$
$a_{43} =$			$2x_3$	$+x_4$	$+x_5$			$= 3{,}4 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$
$a_{53} =$	$2x_1$	$+2x_2$	$+$			x'_6		$= 3{,}43 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$
$a_{54} =$	$2x_1$	$+2x_2$	$+2x_3$	$+x_4$	$+x_5$	$+x'_6$		$= 3{,}77 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$
$a_{1i} =$	$(i \quad 2,3,4,5)$						$= x_8$	$0{,}5 \quad \mathrm{h}^{-1}$
							$t_{rep} = 2$ h	

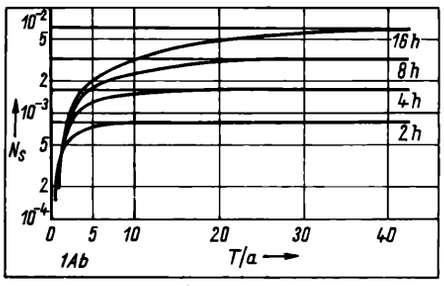


Bild 4. Nichtverfügbarkeit, Variante *1 Ab*

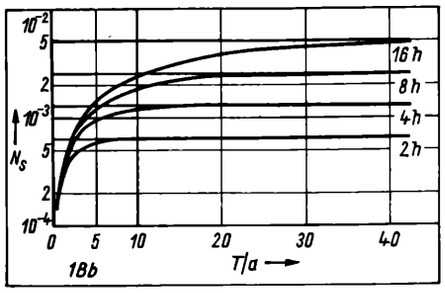


Bild 5. Nichtverfügbarkeit, Variante *1 Bb*

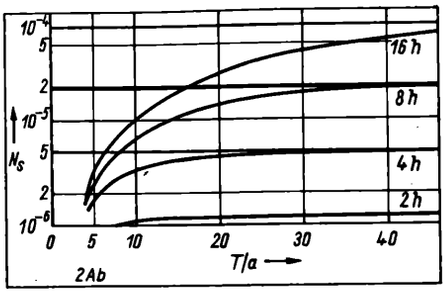


Bild 6. Nichtverfügbarkeit, Variante *2 Ab*

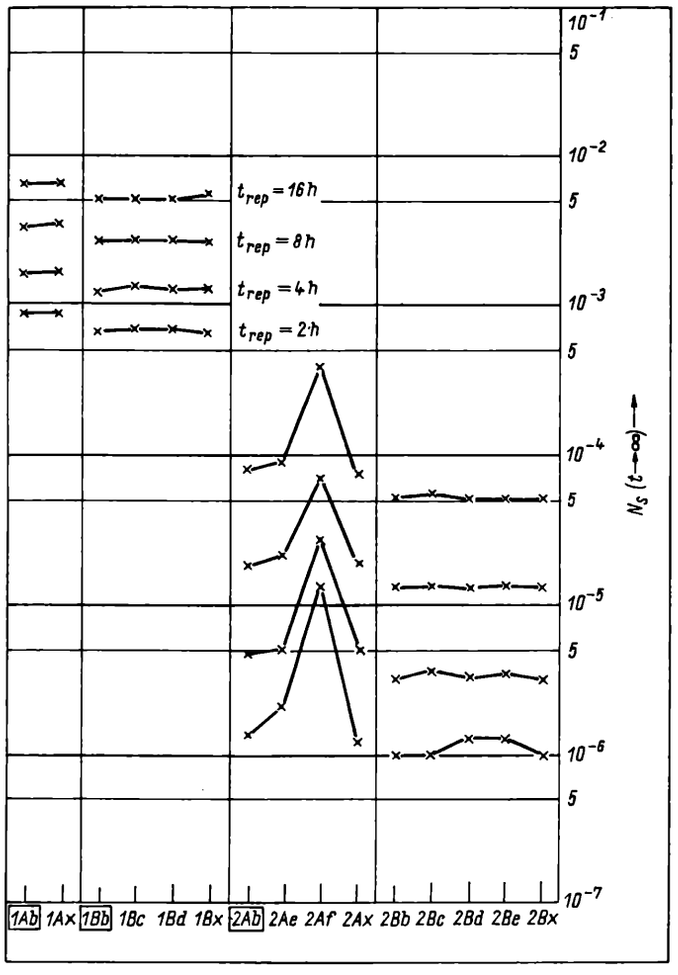
gebenen Ausfall- bzw. Reparaturraten werden die einzelnen Übergangsintensitäten a_{ij} ermittelt und in einer Matrix zusammengestellt (Bilder 3a und 3b für das Beispiel *2Ab*).

Die Zustandsanalyse des Systems führt bekanntlich zur Lösung eines homogenen Differentialgleichungssystems mit konstanten Koeffizienten und gegebenen Anfangsbedingungen. Zur Lösung dieses Differentialgleichungssystems sind verschiedene Methoden bekannt, für die auch Großrechnerprogramme existieren. Als Lösung erhält man die zeitabhängige Wahrscheinlichkeit $p\,(t)$ des Auftretens der einzelnen Zustände Z_i. Aus den Forderungen an die Funktionsfähigkeit des Systems abgeleitet, werden einige Zustände die Verfügbarkeit und einige Zustände die Nichtverfügbarkeit des Systems charakterisieren. Am Beispiel *2Ab* wird folgendes deutlich:

Betriebszustände:

1. System arbeitet vollständig	verfügbar
2. Einer der beiden Richtungssinne ist gestört	verfügbar
3. Stationen arbeiten als 2-MR-System	verfügbar
4. System arbeitet nur in einer Richtung	nicht verfügbar
5. System ist ausgefallen	nicht verfügbar

Bild 7. Dauernichtverfügbarkeit $N_S\,(t \to \infty)$ aller Varianten



Die ermittelte Nichtverfügbarkeit $N_s\,(t)$ ergibt sich aus der Summe der Auftrittswahrscheinlichkeiten der Zustände Z_4 und Z_5.

$$N_s\,(t) = p_4\,(t) + p_5\,(t)$$

Als Anfangsbedingung gilt:

$$p_1\,(t = 0) = 1$$

$$p_2 \cdots p_5\,(t = 0) = 0$$

3.2. Rechenprogramm

Zur Berechnung der Nichtverfügbarkeit wurde das Großrechnerprogramm NEUHP Ø 1 der Ingenieurhochschule Dresden, Abteilung Mathematik, verwendet. Als Ergebnis liefert das Programm einen Kontrolldruck der eingegebenen Matrix $\underline{A}$ der Übergangsintensitäten a_{ij} sowie der Anfangsbedingungen, weiterhin die stationären Auftrittswahrscheinlichkeiten $p_i\,(t \to \infty)$ und die zeitabhängigen Wahrscheinlichkeiten $p_i\,(t)$ bis in den Bereich der Annäherung an den stationären Wert. Die Zeitpunkte wählt das Programm selbst.

3.3. Ergebnisse

Die berechneten Werte für die Nichtverfügbarkeit der drei Beispielvarianten sind in den Bildern 4, 5 und 6 grafisch dargestellt. Deutlich erkennbar ist der Einfluß der Reparaturzeiten sowohl auf den zeitlichen Verlauf der Nichtverfügbarkeit als auch auf die Größe des stationären. Wertes. Bei der Festlegung der Lebensdauer solcher Systeme sollte das Berücksichtigung finden. Für die Reparaturzeit 4 h sind die stationären Werte der drei Beispielvarianten in der Tafel 1 zusammengestellt.

Tafel 1. Vergleich der Systeme

	$N_s\,(t \to \infty)$	$MTBF$/h
1 Ab	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	2500
1 Bb	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	3077
2 Ab	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$	800000

Da die Systemverfügbarkeit V_s als das Verhältnis zwischen fehlerfreier Arbeitszeit $MTBF$ (mean time between failures) und der Summe aus fehlerfreier Arbeitszeit $MTBF$ und Reparaturzeit $MTTR$ (mean time to repair) definiert ist, ermittelt man

$$V_s\,(t \to \infty) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \text{ mit } N_s\,(t \to \infty) = 1 - V\,(t \to \infty)$$

$$N_s\,(t \to \infty) = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR}$$

$$MTBF = \frac{MTTR}{N_s\,(t \to \infty)} - MTTR.$$

Für übliche Reparaturzeiten in besetzten Anlagen und für $N_s\,(t \to \infty) \ll 1$ gilt näherungsweise

$$MTBF = \frac{MTTR}{N_s\,(t \to \infty)}.$$

Mit der mittleren fehlerfreien Arbeitszeit erhält man einen Wert, der im Gegensatz zur Nichtverfügbarkeit anschaulicher ist, weil er einen unmittelbaren Vergleich zur Wirksamkeit anderer fehlertolerierender Maßnahmen erlaubt. Die ausgeprägte Abhängigkeit der mittleren fehlerfreien Arbeitszeit $MTBF$ von der Reparaturzeit $MTTR$ ist darauf zurückzuführen, daß durch Testroutinen jeder Ausfall einer Komponente bemerkt und signalisiert wird und sofort eine Reparatur zur Wiederherstellung des Ausgangszustandes Z_1 folgt. Tafel 2 verdeutlicht diese Feststellung.

Tafel 2. Fehlerfreie Arbeitszeit der Variante *2 Ab*
Ein Vergleich aller in [1] untersuchten Varianten ist in Bild 7 möglich

MTTR/h	$N_g(t \to \infty)$	*MTBF*/h	*MTBF*/a
16	$6{,}5 \cdot 10^{-5}$	$2{,}5 \cdot 10^{5}$	28,5
8	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$	$4{,}0 \cdot 10^{5}$	45,7
4	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$	$8{,}0 \cdot 10^{5}$	91,3
2	$1{,}2 \cdot 10^{-6}$	$1{,}6 \cdot 10^{6}$	182,6

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Aus der Schutzrealis-Statistik wird gegenwärtig sichtbar, daß die herkömmliche Technik eine mittlere fehlerfreie Arbeitszeit in der Größenordnung von 100 a hat. Abgeleitet daraus und durch eine IEC-Empfehlung untermauert, orientiert man für die zukünftigen Einrichtungen auf Größenordnungen von 1000 a [2]. Dieser zunächst sehr hoch erscheinende Wert bedeutet jedoch folgendes: Unter der Voraussetzung von etwa 20 Schaltfeldern je Umspannwerk, die mit einem solchen Übertragungssystem ausgestattet sind, heißt das, daß für 50 Umspannwerke in einem Elektroenergiesystem jährlich einmal in einem dieser UW's die Verbindung eines Schaltfeldes mit der Warte vollständig unterbrochen ist. Weiterhin ist zu bedenken, daß die hier angenommene statistische Unabhängigkeit der Fehlereintritte, d.h. der unbeeinflußte Verlauf der Ausfallprozesse nach der Markovschen Theorie, nicht immer gegeben ist. Vielmehr läßt sich oft ein Zusammenhang zwischen Fehlern im energetischen Anlagenteil und dem Ausfall von Leit- und Automatisierungssystemen nachweisen. Aber gerade in diesen Augenblicken muß das Übertragungssystem verfügbar sein, um mit Schaltzustandsänderungen möglichen Havariesituationen wirksam begegnen zu können.
Weiterhin wird eine Schlußfolgerung deutlich, wenn man die berechneten Werte und die Systemstruktur der drei Beispielvarianten betrachtet. Der Übergang von *1Ab* zu *1Bb* ist vom Aufwand der Gerätetechnik beträchtlich, der erreichte Verfügbarkeitsgewinn jedoch gering (vgl. Bilder 1 und 2 und Tafel 1). Die Variante *2Ab* unterscheidet sich von *1Bb* gerätetechnisch nur unwesentlich, konkret durch je eine ZRE-Platine in jeder Station, der Verfügbarkeitsgewinn beträgt hier fast 3 Zehnerpotenzen. Es hat folglich nur Sinn, an den Stellen des Systems Redundanzen vorzusehen, an denen Schwachpunkte bezüglich der Ausfallrate existieren.
Bei den abgeleiteten Strukturen, die die gestellten Forderungen erfüllen, hat sich gezeigt, daß die ZRE-Baugruppe mit der höchsten Ausfallrate zum bestimmenden Faktor wurde.
Es sollten deshalb Bestrebungen vom Hersteller unternommen werden, um das Ausfallverhalten dieser Baugruppe zu verbessern.
Die erreichten Ergebnisse sind jedoch nur dann von praktischem Wert, wenn sie in der gleichen Größenordnung mit den Werten liegen, die mit den Fehlersicherungsmaßnahmen aus der eingangs genannten 1. Gruppe realisiert werden.
Es sollte immer auf eine koordinierte Anwendung aller zuverlässigkeitsverbessernden Maßnahmen geachtet werden.
Einseitig erreichte Höchstwerte werden mit hohem Aufwand erkauft und täuschen über die wahren Verhältnisse hinweg.

Literatur

[1] *Birkenstock, N.:* Ein Beitrag zur Gestaltung redundanter bidirektionaler Mehrlichtleitersysteme zur Informationsübertragung in Umspannwerken. Dissertation A, IH Zittau 1984
[2] *Spangenberg, P.; Tischer, K.:* Störfestigkeit und Übertragungssicherheit serieller Signalübertragungsstrecken mit Lichtleitern. Energietechnik, Leipzig (1984) 9, S. 344 – 348
[3] *Engelage, D.; Proske, S.; Klar, H.; Spangenberg, P.:* Bidirektionale Lichtleitsignalübertragung zwischen Mikrorechnern zur Informationsverarbeitung in Elektroenergieanlagen. Vortrag auf der VI. Wiss. Konferenz der IH Zittau, IHZ-WK-81-384
[4] *Störmer, H.:* Mathematische Theorie der Zuverlässigkeit. Berlin: Akademie-Verlag 1983
[5] *Förster, U.:* Ein Verfahren zur Bewertung der Zuverlässigkeit elektroenergetischer Schutzsysteme. Dissertation A, IH Zittau 1979

EA 5547

Beeinflussung von Lichtwellenleiterstrecken in Energieanlagen

K. Tischer, KDT, Zittau

Bei der Applikation von Lichtwellenleiterstrecken ist in den letzten Jahren ein Wandel eingetreten. Neben der ursprünglichen postalischen Nutzung erschließt sie sich in der gegenwärtigen Zeit mit der Automatisierungstechnik ein neues Anwendungsgebiet. Im Bereich der Elektroenergieversorgung wird mit der Errichtung der Referenzanlage SIS-HS im Umspannwerk Schmölln eine wesentliche Grundlage zum umfassenden Einsatz der Lichtwellenleitertechnik in diesem Wirtschaftszweig gelegt. Der Einsatz der Lichtwellenleitertechnik löst eine ganze Anzahl von Problemen der vorhergehenden Technikgeneration. Gleichzeitig treten aber auch qualitativ neue Erscheinungen auf, und es ändern sich die quantitativen Schwerpunkte bestehenbleibender Probleme. Das betrifft besonders das Gebiet der Verträglichkeit mit Umweltkomponenten und der gegenseitigen Beeinflussung.
Dieser Beitrag beschäftigt sich mit einigen Aspekten der Störbeeinflussung von Lichtwellenleiterstrecken in Automatisierungsanlagen der Energietechnik.

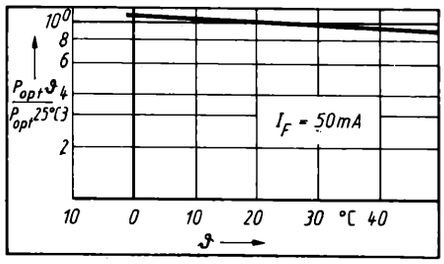
1. Klimatische Beeinflussung

Die Mehrzahl der Umweltfaktoren ist durch zweckmäßige konstruktive Lösungen und geeignete Materialwahl beherrschbar. Eine Ausnahme stellt die Temperatur dar, die beim Stand der Technik alle drei Systemelemente der Lichtwellenleitertechnik in relevanter Größenordnung beeinflußt. Das Bild 1 zeigt die Abhängigkeit der emittierten optischen Leistung einer IRED VQ 170 von der Temperatur. Der Temperaturkoeffizient ist mit 0,5%/K Leistungsverlust typisch für Infrarot emittierende Dioden. Die weiteren auftretenden Effekte sind von geringerer Bedeutung. So verbleibt die Wellenlängendrift mit kleiner 1 nm/K im Bereich der spektralen Halbwertsbreite und die Flußspannungsänderung im mV-Bereich.
Die optischen Kabel zeigen in ihrem Temperaturgang einen Widerspruch zwischen Theorie und Praxis. Die Absorptionseigenschaften werden als praktisch invariant angegeben. Die Brechzahländerungen liegen materialabhängig für Gläser bei $\frac{dn}{d\vartheta} \approx 1 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$ und für Plastmaterialien bei $\frac{dn}{d\vartheta} \approx -10^{-4}\ K^{-1}$. Im Bereich üblicher Umgebungstemperaturen müßten deshalb die optischen Eigenschaften der Lichtwellenleiterkabel praktisch konstant sein. Das Bild 2 zeigt einen gemessenen Temperaturgang eines Lichtwellenleiterkabels.
Die deutliche Dämpfungserhöhung bei tiefen Temperaturen wird nicht primär durch die optischen Parameter des Lichtwellenleiters verursacht. Sie sind das Resultat mechanischer Spannungen, die durch die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der beim Kabelaufbau verwendeten Materialien bedingt sind. Diese Wärmeausdehnung führt bei Steckern zur mechanischen Zerstörung der Steckerstirnflächen, wenn nicht konstruktive Gegenmaßnahmen vorgesehen sind. Bei den Empfangselementen ist sowohl die Steilheit als auch die spektrale Empfindlichkeit temperaturabhängig. Verglichen mit den beiden anderen Systemelementen und der Temperaturbeeinflussung des elektronischen Verstärkers können die Fotodioden als temperaturstabil eingeschätzt werden. Im Bild 3 ist die Abhängigkeit der zur Konstanthaltung der Bitfehlerrate $BFR = 1 \cdot 10^{-6}$ notwendigen Signalleistung von der Temperatur angegeben. Es gibt offensichtlich sowohl bei tiefen als auch bei höheren Umgebungstemperaturen technische Schwierigkeiten. Diese Erscheinungen sind für Empfangsmodule typisch.

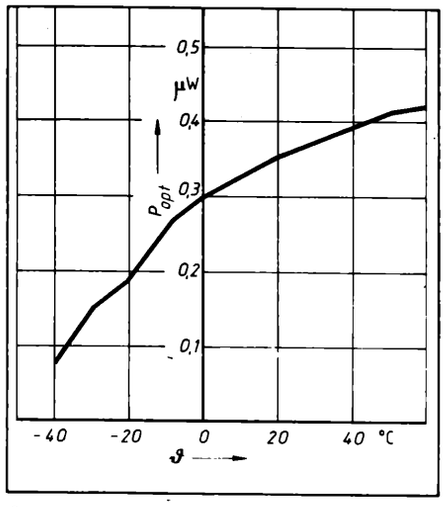
2. Mechanische Beeinflussung

Die mechanische Beeinflussung der Sende- und Empfangsmodule stellt keine qualitative Besonderheit optoelektronischer Systeme

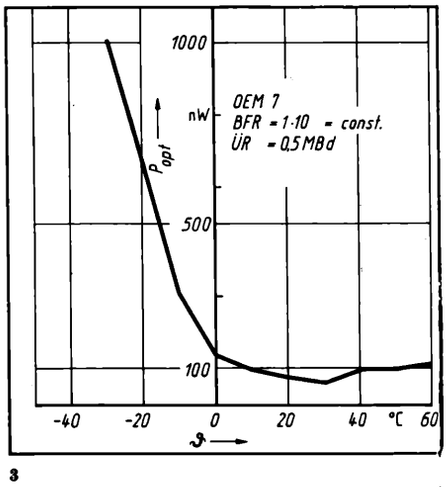
Dipl.-Ing. *Knut Tischer* ist Forschungsstudent an der Ingenieurhochschule Zittau, Sektion Elektroenergieversorgung.



1

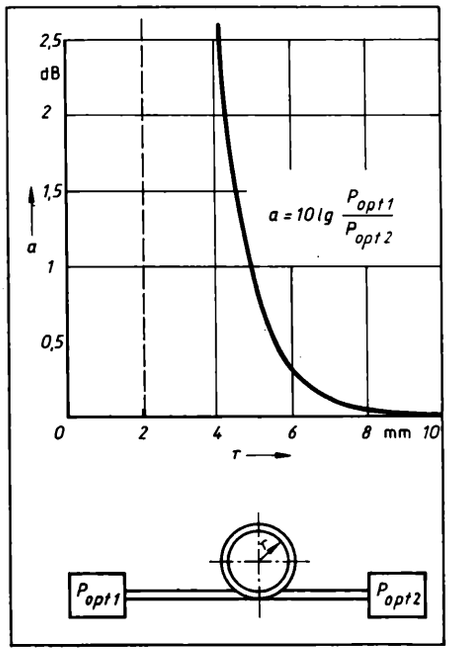


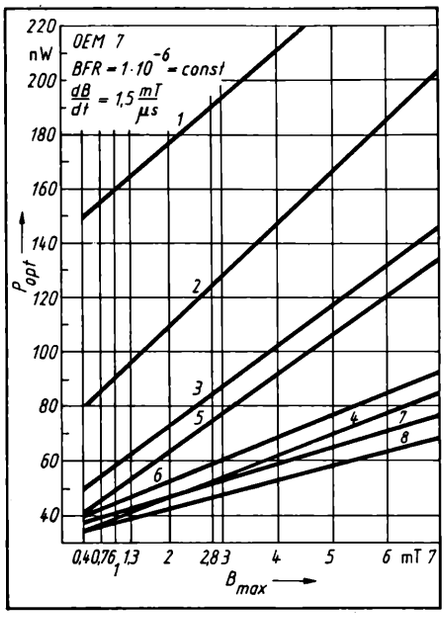
2



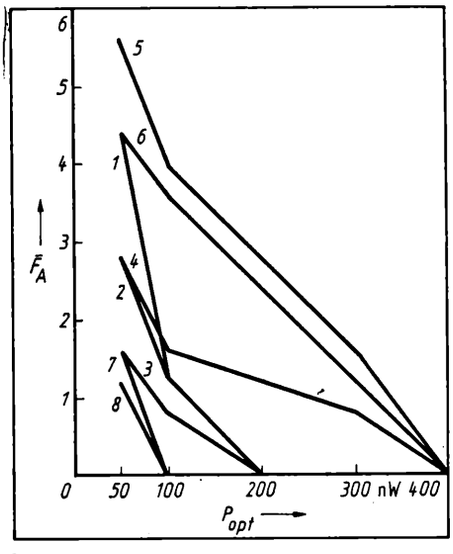
3

4

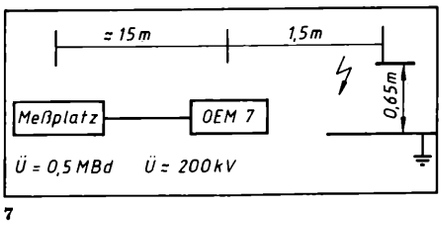




5

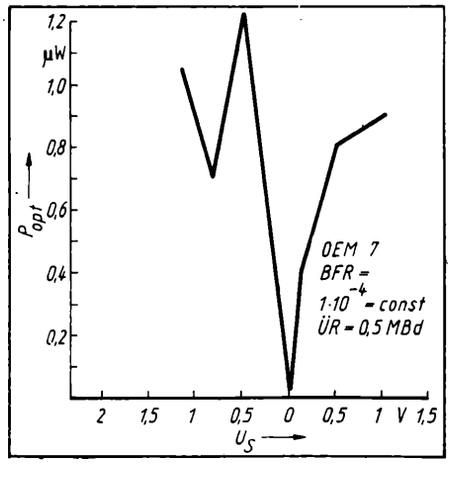


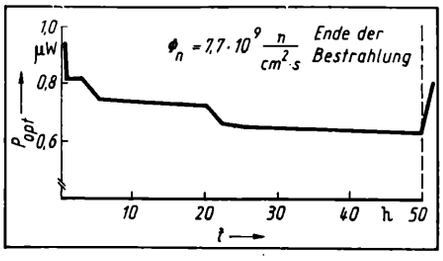
6



7

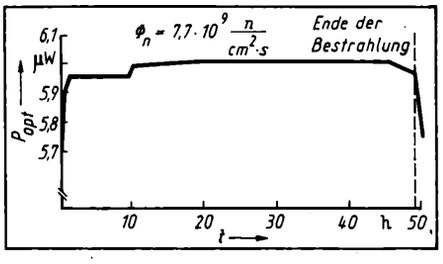
8

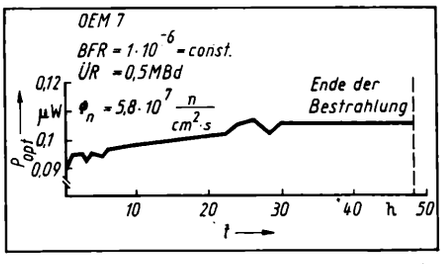




9

10





11

12

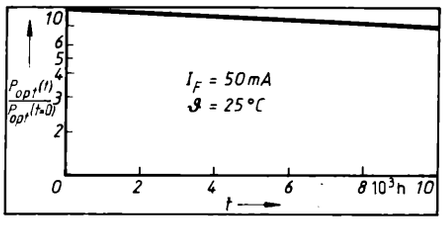


Bild 1. Funktion $P_{opt} = f(\vartheta)$ für IRED Typ VQ 170
Bild 2. Funktion $P_{opt} = f(\vartheta)$ am Ende eines Lichtleiterkabels
(Meßlänge: 900 m; Typ: 4YZY 1 × 1 S-2/3)
Bild 3. Erforderliche Signalleistung als Funktion der Temperatur (BFR = 1·10^{-6})
Bild 4. Funktion $P_{opt} = f(r)$ von Lichtleitern des Typs 4YZY 1 × 1 S -2/3
Bild 5. Erforderliche Signalleistung bei hochfrequenten Magnetfeldern

1 Messing	0,25 mm
2 Messing	0,5 mm
3 Messing	0,8 mm
4 Mu-Metall	0,3 mm
5 Texturblech	0,35 mm
6 Dynamoblech	0,6 mm
7 Messing/Mu-Metall	0,5/0,3 mm
8 Messing/Dynamoblech	0,8/0,35mm

Bild 6. Durchschlagversuch, Bitfehler je Luftdurchschlag

1 Messing	0,25 mm
2 Messing	0,5 mm
3 Messing	0,8 mm
4 Mu-Metall	0,3 mm
5 Texturblech	0,35 mm
6 Dynamoblech	0,6 mm
7 Messing/Mu-Metall	0,5/0,3 mm
8 Messing/Dynamoblech	0,8/0,35 mm

Bild 7. Gerätekonfiguration ($\hat{U} \approx 200$ kV)
Bild 8. Erforderliche Signalleistung als Funktion der Störamplitude (BFR = 1·10^{-6})
Bild 9. Optische Leistung bei Neutronenbestrahlung von IRED Typ VQ 170
Bild 10. Optische Leistung am Ende neutronenbestrahlter Lichtleiter
(Meßlänge: 100 m; Typ 4 YZY 1 × 1 S-2/3)
Bild 11. Erforderliche Signalleistung als Funktion der Neutronenbestrahlung
Bild 12. Funktion $P_{opt} = f(t)$ für IRED Typ VQ 110
(Der Maximalwert beträgt 1)

dar. Die Koppelstellen sind mechanische Präzisionsteile, aber im geschlossenen Zustand relativ robust. Gefährdet sind vor allem offene Steckerstirnflächen gegen Verschmutzung und Beschädigung.

Den Gefährdungsschwerpunkt stellen wegen der räumlichen Ausdehnung die Lichtwellenleiterkabel selbst dar. Die erreichbare Resistenz wird von der konkreten Kabelkonstruktion bestimmt. Bei Biegeversuchen mit 100000 Zyklen zeigten Lichtwellenleitkabel des KWO keine Änderung der Dämpfungseigenschaften. Bei Zugversuchen trat bis zum Reißen der Zugentlastung keine relevante Dämpfungsänderung ein. Das Bild 4 zeigt die Dämpfung einer Schaltader in Abhängigkeit vom Krümmungsradius.

Es ist ersichtlich, daß alle mechanischen Beanspruchungen, die zu kleinen Biegeradien führen, eine Dämpfungserhöhung bewirken. Eine Dauerschädigung tritt im Normalfall nicht ein.

3. Elektromagnetische Beeinflussung

Vom Wirkprinzip her ist bei optoelektronischen Einrichtungen die Störbeeinflussung über elektromagnetische Felder und über die Versorgungsleitungen möglich. Die Signalleitungen weisen dielektrische Eigenschaften auf und sind elektromagnetisch nicht störbar. Die Störfeldgrößen können in den zu automatisierenden Anlagen beträchtliche Höhen erreichen. Für Umspannwerke wird mit elektrischen Feldern bis 100 kV/m und mit magnetischen Feldern bis 30 A/m als Höchstwerte gerechnet. Im allgemeinen Fall kann die direkte Feldwirkung gegenüber der indirekten Feldwirkung über generierte Ströme und Störspannungen vernachlässigt werden. Bild 5 zeigt Resultate einer Untersuchung mit hochfrequenten Magnetfeldern und unterschiedlichen Abschirmungen bei Empfangsmoduln OEM 7 der IH Zittau. Die gewählten Anstiegsgeschwindigkeiten entsprechen dem Beanspruchungsfall Blitzeinschlag.

Durch Abschirmung und Erhöhung der Signalleistung kann die Störungsresistenz verbessert werden, ohne daß die Störungsimmunität erreichbar ist.

Die qualitativ gleiche Aussage läßt sich aus den Ergebnissen eines Hochspannungs-Durchschlagversuches ableiten. Die Ergebnisse dieses Versuches sind im Bild 6 dargestellt. Bild 7 zeigt die Gerätekonfiguration.

Die Auswirkung von Störungen über die Versorgungsleitungen ist von der Anstiegssteilheit, der Amplitude und der Wiederholfrequenz abhängig. Bild 8 zeigt die zur Konstanthaltung einer vorgewählten Bitfehlerrate in Abhängigkeit von der Störamplitude notwendige Signalleistung. Der positiven Betriebsspannung des Empfangsmoduls OEM 7 wurden im Frequenzbereich 100 kHz bis 1 MHz pseudozufällige Störungen überlagert. Die Übertragungsrate lag bei 0,5 MBd. Diese Untersuchung wurde mit Empfangsmodulen unterschiedlicher Entwicklungen ausgeführt. Wenn auch quantitative Unterschiede bestehen, waren doch bei allen Empfangsmodulen schon bei einigen 10 mV Störspannung relevante Verschlechterungen der Empfängereigenschaften zu beobachten.

Metallfreie Lichtwellenleiterkabel führen zur Potentialtrennung. Isoliertechnisch gesehen entsprechen optische Kabel dem Typ des elektrisch dünnen Isolators.

Die Beanspruchung von Lichtwellenleiterkabeln mit Spannungsgradienten von 1 kV/cm führten innerhalb einer Frist von 15 Stunden zu Teilentladungen und zur mechanischen Zerstörung der Prüfkörper. Die Versuche wurden zur Simulation realer Verhältnisse mit leitfähigen Schichten auf den Lichtwellenleiterkabeln durchgeführt. Die gegenwärtigen Mantelmaterialien sind für den isoliertechnischen Einsatz ungeeignet.

4. Ionisierende Strahlung

Die Kernstrahlungsbeständigkeit ist bei Applikationen in Kernkraft- und Kernheizwerken bedeutungsvoll. Das Bild 9 zeigt die Auswirkung von Neutronenstrahlung auf konfektionierte Infrarotemitter VQ 170.

Abgesehen von den thermischen Einschwingvorgängen zeigen sich die Sendeelemente als ausreichend stabil. Die Schädigung durch die Bestrahlung ist aber deutlich erkennbar.

Das Bild 10 zeigt die optische Leistung am Ende eines bestrahlten 100 m langen 200-µm-Stufenindex-Lichtwellenleiters. Die Ergebnisse weisen die Verbesserung der spektralen Dämpfungseigenschaften nach. Dieses Verhalten ist nicht als typisch für alle optischen Kabel und alle Wellenlängen voraussetzbar. Abhängig vom Aufbau und Material des optisch aktiven Teils ist auch die drastische Verschlechterung der Dämpfungseigenschaften möglich. Die zum Aufbau des verwendeten optischen Kabels benutzten Materialien zeigten bei einer visuellen Prüfung keine kritischen Veränderungen ihrer Eigenschaften. Das Bild 11 gibt die zur Konstanthaltung der Bitfehlerrate eines bestrahlten Empfängermoduls OEM 7 notwendige optische Leistung an. Die erforderliche optische Leistung ist, von den thermischen Vorgängen am Beginn und Ende der Bestrahlung abgesehen, weitgehend konstant, so daß sich optische Empfänger dieses Typs als stabil erwiesen.

Durch die Bestrahlung tritt als Folge der zum Aufbau verwendeten Materialien eine starke Aktivierung der optoelektronischen Moduln und der optischen Stecker mit ungünstigen Abklingzeiten ein. Die verwendeten Stufenindex-Lichtwellenleiter des KWO wurden nicht relevant aktiviert.

5. Alterung

Die Alterung ist wie die Dauerschädigung durch Kernstrahlung im Gegensatz zu den bisher betrachteten Prozessen eine irreversible Erscheinung. Sie beeinflußt die Qualität der Signalübertragung, ohne eine Störbeeinflussung im engeren Sinn zu sein. Der gegenwärtig erkennbare Alterungsschwerpunkt liegt bei den Infrarotemittern. Im Bild 12 ist die Lebensdauerkennlinie von Infrarotemittern VQ 110 angegeben. Aus dem Bild ist der zum Beginn der Betriebszeit auftretende starke Leistungsabfall nicht zu erkennen. Aus dem Verlauf dieses einige 10 Stunden dauernden Vorganges sind Prognosen über das Alterungsverhalten des konkreten Elementes möglich. Bei den Empfangsdioden kann verallgemeinernd von einer ausreichenden Alterungsstabilität gesprochen werden. Sie stellen derzeitig bei Applikationen in der Automatisierungstechnik kein technisches Problem dar. Bei den Lichtwellenleitern sind die Prognosen nicht einheitlich. Für die Umhüllungs- und Stützmaterialien werden im Alterungsprozeß Veränderungen wichtiger Parameter erwartet. Insbesondere rechnet man mit Versprödungserscheinungen und geänderten optischen Eigenschaften bei Plastmaterialien und Epoxidharzen.

6. Zusammenfassung

Die Einflußfaktoren auf die Übertragungsqualität lassen sich nach ihrer Beherrschung in drei Gruppen einteilen. Die Faktoren der 1. Gruppe sind in ihrem Wirkmechanismus und ihrem Wertevorrat völlig bekannt. Sie können durch zweckmäßige konstruktive Lösungen und ein entsprechendes Betriebsregime so beherrscht werden, daß keine relevante Beeinflussung der Übertragungsqualität vorliegt. Vertreter dieser Gruppe sind solche Faktoren, wie Verschmutzung, systeminterne Störungen und Temperaturvorgänge.

Die 2. Gruppe umfaßt die Einflußgrößen, deren prinzipieller Verlauf bekannt ist und bei denen die Unterdrückung der Beeinflussung aus dieser Kenntnis heraus erfolgt. Die Sicherung der Übertragungsqualität ist durch planmäßige Wartungs- und Reparaturarbeiten möglich. Typische Repräsentanten sind kumulative Effekte, wie Alterung und Strahlenschäden.

Die Beeinflussungsfaktoren der 3. Gruppe sind durch die statistische Verteilung ihrer Eigenschaften gekennzeichnet. Es ist durch vorbeugende Maßnahmen bei ihnen möglich, einen bestimmten Grad der Beeinflussungsresistenz zu erzielen, ohne daß die völlige Immunität erreichbar ist. Ein bekannter Vertreter dieser Gruppe ist die elektromagnetische Beeinflussung. Wegen der Wirkung der Faktoren aus der 3. Gruppe verbleibt in jedem Fall eine gewisse Fehlerwahrscheinlichkeit.

Aus technisch-ökonomischen Gründen können aber auch Faktoren der ersten beiden Gruppen bei realisierten Lichtwellenleiterstrecken zu Übertragungsfehlern führen. Deshalb ist bei Lichtwellenleiterstrecken mit hohen Forderungen an die Datensicherheit eine Fehlersicherung erforderlich. Die technisch konstruktiven Maßnahmen und das Fehlersicherungsverfahren sind nach dem Kriterium des minimalen gesellschaftlichen Aufwandes zu optimieren.

Literatur

[1] *Spangenberg, P.; Tischer, K.:* Störfestigkeit und Übertragungssicherheit serieller Signalübertragungsstrecken mit Lichtleitern. Energietechnik, Leipzig (1984) 9, S. 344–348

[2] *Wilhelm, J.:* Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Grafenau: expert Verlag 1981

[3] *Engelage, D.:* Lichtleitertechnik in Automatisierungs- und Energieanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik (in Vorbereitung)

[4] *Semenov, N. A.:* Optičeskie kabeli svjazi. Radio i Svjazi, Moskau (1981) 3, S. 151–159

EA 5551

Fehleranalyse an Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken in Elektroenergieanlagen

P. Spangenberg, KDT, Zittau

Bei der Konzeption von Energieanlagen werden in zunehmendem Maße elektronische Verfahren zur Messung, Steuerung und Regelung sowie zur Überwachung und Diagnose berücksichtigt. Damit sind grundsätzliche Veränderungen in der Struktur der Sekundärtechnik verbunden, was auch auf die Signalübertragung zwischen Warte und Schaltfeld zutrifft. Unbestritten ist in diesem Zusammenhang der Einsatz der Mikroprozessortechnik in Verbindung mit der Lichtwellenleittechnik zur digitalen multiplexen Signalübertragung vom Schaltfeld zur Warte und umgekehrt. Die Verwendung von dielektrischen Lichtwellenleitern als Übertragungsmedium ist mit einer Reihe allgemein bekannter Vorzüge verbunden. Hier soll jedoch auf einige Besonderheiten eingegangen werden, die mit dem Einsatz der Lichtwellenleittechnik in Energieanlagen verbunden sind:

- Es ist tendenziell eine höhere Auslastung der primären Betriebsmittel zu verzeichnen, was mit immer stärkeren elektromagnetischen Störfeldern verbunden ist.
- Mit der Einführung der Lichtwellenleittechnik sinken die Signalleistungen erheblich, dabei sind zwar die Lichtwellenleiter elektromagnetisch unempfindlich, doch es verbleibt eine sehr hohe Empfindlichkeit der optoelektrischen Wandler (Empfänger), da die verarbeiteten Lichtleistungen im Bereich von nur einigen 10 bis 100 nW liegen.
- Durch die multiplexe Signalübertragung steigen die Grenzfrequenzen auf dem Übertragungskanal bis in den MHz-Bereich. In diesem Bereich liegt auch ein großer Anteil des in Energieanlagen auftretenden Störspektrums.
- In Energieanlagen liegen höchste Forderungen bezüglich der Sicherheit von Signalübertragungsstrecken vor, die noch dadurch verschärft werden, daß die Ursachen von elektromagnetischen Störungen (z.B. Einschwingvorgänge, Überspannungen) dazu führen können, daß die Datenübertragungseinrichtung gestört und damit eine Fehlererfassung oder Fehlerbeseitigung unmöglich gemacht wird.

Diese Tatsachen machen es notwendig, das Störungsverhalten von Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken näher zu betrachten. Umfangreiche Untersuchungen zur Störfestigkeit der Lichtwellenleitertechnik, insbesondere von optischen Empfängern, haben ergeben, daß selbst durch komplexe Anwendung verschiedenster Störschutzmaßnahmen Restfehler verbleiben [1] [2], die durch Fehlersicherungsverfahren beherrscht werden müssen. Zur Auswahl des Fehlersicherungsverfahrens sind jedoch Kenntnisse über das Störungsverhalten des Übertragungskanals notwendig. Man kann die Übertragungsfehler in zufällige Fehler (statistisch verteilte Fehler, die durch Rauschprozesse im Empfänger entstehen) und Bündelfehler (Bursts, die z.B. durch Störfelder entstehen) einteilen. Bisher wurde weitestgehend die Bitfehlerrate als Qualitätsparameter für eine binäre Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecke angegeben. Damit sind jedoch lediglich die zufälligen Fehler beschreibbar. Es besteht die Aufgabe, Parameter real auftretender Bursts zu erfassen, um die Wirksamkeit verwendeter Fehlersicherungsverfahren bezüglich dieser Übertragungsfehler abschätzen zu können. Sinnvoll ist eine Klassifizierung der Bursts nach Länge und Gewicht [3]. Betrachten wir ein Informationswort I, so entsteht immer dort ein Bitfehler, wo das Fehlerwort F den Wert 1 hat. Das Empfangswort E ergibt sich als Überlagerung (Mod. 2 — Addition) von Informations- und Fehlerwort.

$$I = 0\,0\,0\,1\,1\,1\,0\,1\,1\,0\,0\,1\,1\,0\,1\,0\,0\,0\,1\,1$$
$$F = 0\,1\,0\,0\,0\,0\,1\,0\,0\,1\,1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,1\,0$$
$$E = I \oplus F = 0\,1\,0\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,0\,0\,0\,0\,1$$

Fehlerlänge $l = 18$; Fehlergewicht $g = 6$

Das Fehlergewicht g entspricht dabei der Anzahl von Bitfehlern, und die Fehlerlänge l ist der Abstand zwischen erstem und letztem Bitfehler + 2.

1. Systemstruktur

Die grundsätzliche Struktur eines Lichtwellenleiter-Interface für K 1520 zeigt Bild 1. Für die Organisation der Parallel/Serien-Wandlung und CRC-Fehlersicherung wird der SIO-SK U 856 verwendet. In der Übertragungsrichtung mit dem größten Informationsaufkommen (Schaltfeld-Warte) wird der Daten-Transfer DMA-gestützt durchgeführt. Koder/Sender bzw. Empfänger/Dekoder und Taktregenerator dienen der Kanalkodierung bzw. der optoelektrischen Signalwandlung. Mit diesem Interface können zwei Mikrorechner im Halbduplex-Betrieb kommunizieren. Im Anwendungsfall werden in der Richtung Feld-Warte Meßwerte und Meldungen, in der Gegenrichtung Schaltbefehle übertragen. Für spätere redundante Systeme (dynamische funktionsbeteiligte Redundanz) werden auf jeder Seite zwei solcher Interfaces, die über vier Lichtwellenleiter bzw. zwei Lichtwellenleiter mit Strahlteilern gekoppelt sind, verwendet [4] [5]. Auf Grund der Notwendigkeit eines synchronen Abtastens der Meßwerte im Schaltfeld und der Netto-Datenrate von etwa 0,2 M Bd wurde eine synchrone blockweise Datenübertragung mit 0,5 M Bd Übertragungsrate bei einer Blockrate von 800 Hz gewählt.
Als Leitungskode wurde die Bi-Phasen-Kodierung festgelegt, da damit relativ viele Taktflanken für die Taktregenerierung zur Verfügung stehen und auf dem Übertragungskanal (Lichtwellenleiter) die dazu notwendige Bandbreite zur Verfügung steht. Das Signalspektrum wird damit gleichzeitig aus dem Tiefpaß- in einen Bandpaßbereich transformiert, was hinsichtlich des vorhandenen Störspektrums bei tiefen Frequenzen günstig ist.
Das mit dem SIO-Schaltkreis U 856 zur Verfügung stehende CRC-16-Fehlersicherungsverfahren hat folgende Eigenschaften:

1. Da ein zyklischer Kode Verwendung findet, wird ein Übertragungsfehler nur dann nicht erkannt, wenn das Fehlerwort einem erlaubten Kodewort entspricht.
2. Die Fehlerreduktionsfaktoren sind im einzelnen:

$-\ g \leqq 3$ oder ungerade	$R = 0$
$-\ l \leqq 16$	$R = 0$
$-\ g > 3$, gerade $l = 17$	$R \approx 6 \cdot 10^{-5}$
$-\ g > 3$, gerade $l > 17$	$R \approx 3 \cdot 10^{-5}$.

Es sind also Bursts mit Gewichten größer als 4 bzw. Längen größer als 16 entscheidend für nichterkennbare Fehler.

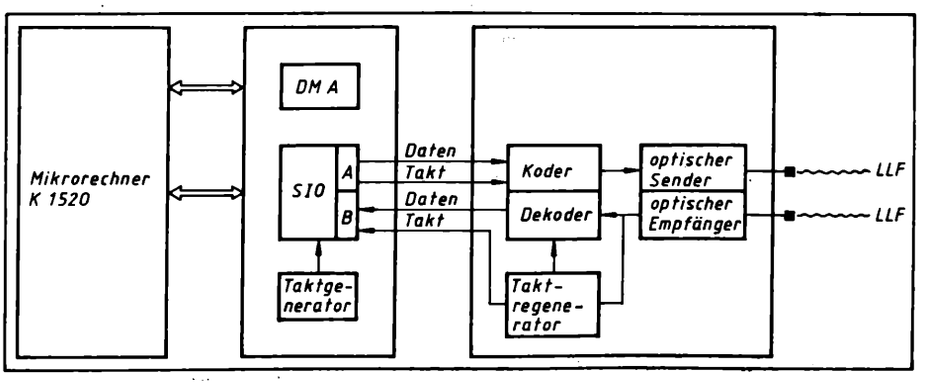


Bild 1. Lichtwellenleiter-Interface für Mikrorechner K 1520

Dipl.-Ing. *Peter Spangenberg* ist wissenschaftlicher Assistent an der IH Zittau, Sektion Elektroenergieversorgung.

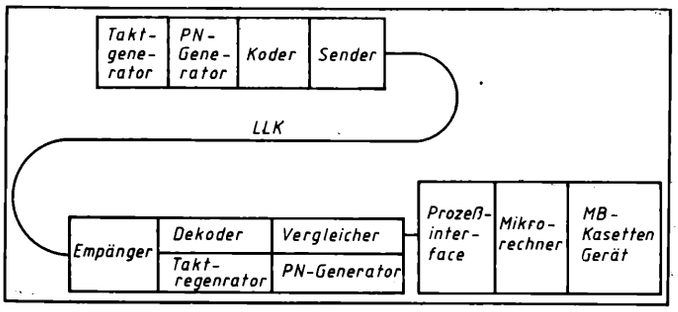


Bild 2. Blockschaltbild des mikrorechnergestützten Fehleranalysegerätes

2. Meßzeit

Um Häufigkeitsverteilung und Struktur real auftretender Bursts nachweisen zu können, muß unter den Umweltbedingungen eines Umspannwerkes gemessen werden. Im Bereich der postalischen Datenübertragung werden für Messungen an Übertragungsstrecken Meßzeiten im Bereich von 1 bis 24 Stunden gewählt. Betrachtet man die Fehlerursachen, so sind diese Meßzeiten auch sinnvoll. Übertragungsfehler haben ihre Ursache in Wählgeräuschen, Nebensprechen u.ä. Diese Ereignisse treten in 24 Stunden mit genügender Häufigkeit auf, so daß repräsentative Meßergebnisse in dieser Zeit zu erwarten sind [3].

Betrachten wir die möglichen Störungsursachen in einem 380-kV-Umspannwerk, so sieht die Verteilung ganz anders aus (Tafel 1). Den größten mittleren Abstand zwischen zwei möglichen Burst-Ursachen haben Erdfehler mit etwa 1 bis 2 Monaten. Man muß weiterhin davon ausgehen, daß die Verteilung dieser Ereignisse starken jahreszeitlichen und territorialen Schwankungen unterlegen ist. Deshalb sind Meßzeiten von mehreren Monaten notwendig. Alle anderen Burst-Ursachen werden in dieser Zeit genügend oft auftreten, um repräsentative Ergebnisse zu erhalten. Die Auswirkungen seltener Ereignisse sind am Ende der Meßzeit anhand des Betriebstagebuches rekonstruierbar und auf langjährige Mittelwerte umrechenbar.

3. Informationsvorverarbeitung

Das verwendete Fehleranalysegerät besteht im Prinzip aus einem Fehlerratenmeßgerät und einem Analyse-Mikrorechner mit Prozeßinterface (Bild 2). Im Sendeteil wird ein pseudozufälliges Testsignal erzeugt und als optisches Signal gesendet. Dieses Signal wird im Empfangsteil in ein elektrisches zurückgewandelt und mit einem zum Sendesignal synchronisierten Referenzsignal verglichen. Am Ausgang des Vergleichers stehen die Signale *Bitfehler*, *Blockanfang*, *Takt* zur Verfügung. Aufgabe von Prozeßinterface und Mikrorechner MC 80 ist nun eine Informationsverdichtung, jedoch möglichst ohne relevante Informationen zu verlieren. Dabei ist insbesondere zu beachten, daß für eine Woche Meßzeit nur der Speicherplatz einer Magnetbandkassettenseite mit 128 kByte zur Verfügung steht. Alle betrachteten Varianten zur Informationsvorverarbeitung kommen mit den 3 Informationen

- Fehlerlänge l
- Fehlergewicht g
- CRC-Kontroll-Ergebnis

aus, so daß ein einheitliches Prozeßinterface entwickelt wurde. Die Spezifik der Informationsvorverarbeitungs-Varianten läßt sich durch entsprechende Programmierung erreichen. Möglich sind folgende Varianten:

- Blockfehlerverteilung
- Verteilung mehrerer Blockfehler hintereinander
- Fehlerlängenverteilung
- Fehlergewichtsverteilung
- Fehlerlängen-Gewichts-Matrix
- reduzierte Fehlerlängen-Gewichts-Matrix (Einteilung von l und g in Klassen)
- Kontrolle bezüglich der Erkennung eines Fehlers mit dem CRC-16-Fehlersicherungsverfahren.

4. Prozeßinterface

Für alle Varianten der Informationsvorverarbeitung ist das Prozeßinterface nach Bild 3 nutzbar. Als Mikrorechnerschnittstelle wurden die E/A-Bausteine CTC und PIO der ZRE-Platine verwendet.

Eine Umschalteinrichtung sorgt dafür, daß die Bitfehler-Impulse abwechselnd an zwei CTC-Kanäle gegeben werden. Die anderen

Tafel 1. Schätzung der Häufigkeitsverteilung von möglichen Burst-Ursachen in 380-kV-Umspannwerken

Störungsursache	Auftritts-Wkt.	Mittlerer Abstand	Bemerkung	Quelle
Rauschen	$p_B\,10^{-6}$	0,56 h	Ausgangspunkt: Bitfehlerrate	Schätzung
Netzstörung	1/h ··· 1/d	1 ··· 24 h	allg. Störung auf dem 220-V-Netz	Schätzung
Trennerschaltung	15/a	1 d	bei 28 Trennern im UW	Auswertung der Betriebstagebücher von 2 UW (220/380 kV) über 1 Jahr
LS-Schaltung	20/a	2 d	bei 8 LS im UW	
Schaltfolge	50/a	7 d		
Fehler mit AWE	6/a	30 d		
Fehler ohne AWE	5/a			
Erdfehler	2/100 km.a	60 d	Berechnung mit 300 km Freileitung	Erdfehlerstatistik der DDR

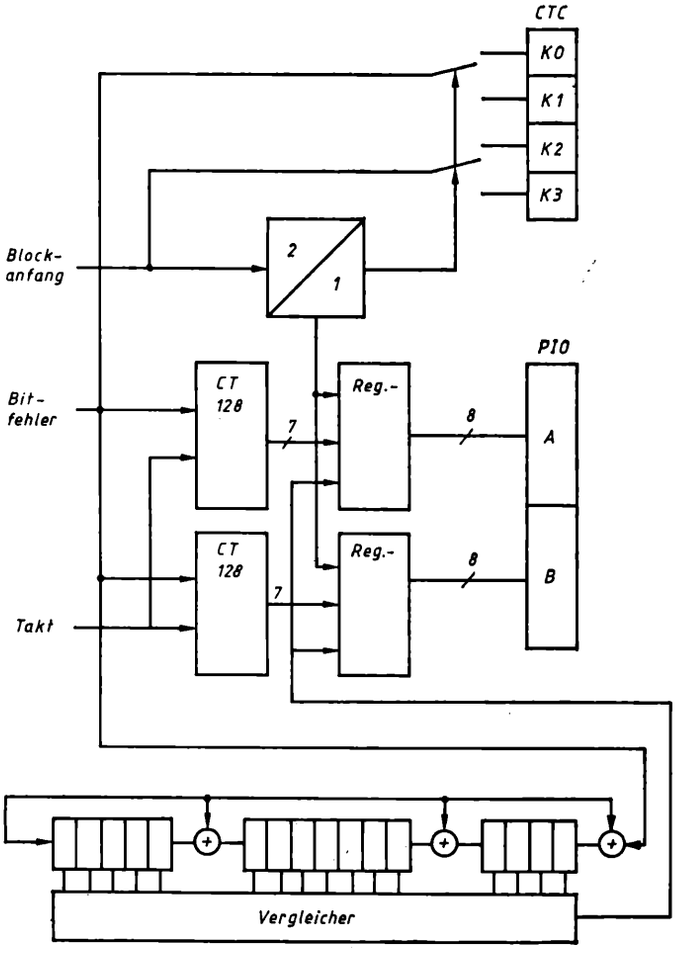
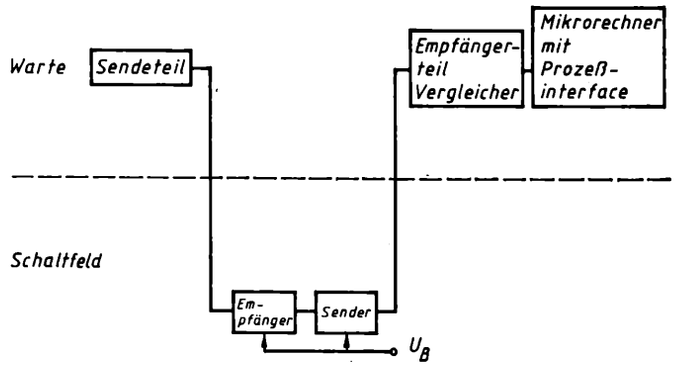


Bild 3. Prozeßinterface

Bild 4. Versuchsaufbau



beiden CTC-Kanäle dienen der Interruptauslösung bei Blockende und der Kanalzuordnung. Zwei Zähler mit entsprechender Steuerung und Zwischenspeichern sorgen für die Registrierung der Fehlerlängen, die als 7-Bit-Wort jeweils einem PIO-Port angeboten werden. Die dritte Baugruppe ist ein rückgekoppeltes Schieberegister als CRC-Checker mit Vergleicher. Mit dieser Baugruppe wird die Funktion Fehlererkennung der SIO nachgebildet, indem das Fehlermuster schrittweise im Schieberegister verarbeitet wird. Am Ende der CRC-Rechnung muß bezüglich eines bestimmten Registerinhalts verglichen werden, um die Nichterkennbarkeit eines Übertragungsfehlers festzustellen. Das Vergleicher-Ausgangssignal ist auf die achte, noch freie Leitung der PIO geschaltet, so daß am Blockende mit dem CTC-Interrupt alle drei Informationen eingelesen werden können.

5. Versuchsaufbau

Die Messungen zur Fehleranalyse werden unter realen Umweltbedingungen eines Umspannwerks durchgeführt. Der prinzipielle Versuchsaufbau ist im Bild 4 dargestellt. Sende- und Empfangsteil mit Analyserechner befinden sich im Wartenkomplex, und zwei einige 100 m lange Lichtwellenleiterkabel werden bis in den Steuerschrank eines 380-kV-Schaltfeldes verlegt. Dort befindet sich lediglich ein Empfänger-Sender-Paar, das aus der Stromversorgung des Schaltschrankes gespeist wird. Somit sind alle Komponenten der Lichtwellenleitertechnik den Umweltbedingungen eines Umspannwerkes ausgesetzt.

Literatur

[1] *Spangenberg, P.; Tischer, K.:* Störfestigkeit und Übertragungssicherheit serieller Signalübertragungsstrecken mit Lichtleitern. Energietechnik, Leipzig (1984) 9, S. 344 – 348

[2] *Tischer, K.:* Beeinflussung von Lichtwellenleiterstrecken in Energieanlagen. ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, S. 129 – 131

[3] *Wilhelm, C.:* Datenübertragung. Berlin: Militärverlag 1976

[4] *Spangenberg, M.:* Bericht über Untersuchungen zur Systemkontrolle in Schaltfeld- und Verteilerrechner – Vorschläge für die Datenübertragung zwischen Schaltfeld- und Verteilerrechner. Studie an der IH Zittau, Abt. EDV, 1981

[5] *Birkenstock, N.:* Ein Beitrag zur Gestaltung redundanter bidirektionaler Mehrlichtleitersysteme zur Informationsübertragung in Umspannwerken. Dissertation A an der IH Zittau 1984 (eingereicht)

[6] *Müncherath, R.:* Datensicherung auf Übertragungswegen mit zyklischen Codes. Elektronik, München (1976) 8, S. 55 – 59

[7] *Engelage, D.:* Lichtleitertechnik in Automatisierungs- und Energieanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik (in Vorbereitung)

EA 5550

Demnächst erscheint im VEB Verlag Technik

Prüftechnik für elektronische Erzeugnisse

Von *R. Kärger*. Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 1. Auflage. 324 Seiten, 295 Bilder, 48 Tafeln. Leinen. DDR 33,— Mark. Ausland 46,— DM. Bestell-Nr. 553341 7

Das Buch vermittelt eine grundlegende Charakterisierung der Qualitätssicherung und der Prüfprozesse in der Elektronikindustrie, der technologischen Grundprozesse und ihrer Schwachstellen. Eine ausführliche und systematische Darstellung der prüftechnologischen Fertigungsvorbereitung wird vorgenommen und dabei das Spektrum der häufigsten nichtelektrischen und elektrischen Qualitäts- und Prüfmerkmale erläutert. Prüf- und Meßverfahren werden dargestellt und ihre Realisierungsbedingungen (Aufwand, metrologische Parameter) bewertet.

Letzteres ist besonders wichtig, da nur sehr wenige Prüfverfahren standardisiert sind. Die Darstellung von relativ einfachen als auch komplizierten Verfahren erlaubt eine an das Fertigungssortiment, den Fertigungstyp (Klein-, Mittel-, Großserien) und die Fertigungstechnik angepaßte Auswahl. Die aufwandsoptimale Gestaltung von Prüfmitteln und Prüfeinrichtungen verlangt die Beachtung der Dialektik von spezialisierten, erzeugnisgebundenen sowie flexiblen und sortimentsbezogenen Lösungen. Unter dem Aspekt des Baukastenprinzips werden die hauptsächlichen Baugruppen von Prüfeinrichtungen behandelt. Aktuelle Beispiele von realisierten Prüfeinrichtungen runden die Thematik ab.

Das Buch wendet sich an alle Fachleute, die auf dem Gebiet der Prüftechnik für elektronische Erzeugnisse arbeiten. Anwender von elektronischen Erzeugnissen in anderen Industriezweigen werden von diesem Buch ebenfalls profitieren. Auch für Studenten und Lehrkräfte des Elektroingenieurwesens wird das Werk eine nützliche Hilfe sein.

Die Redaktion

Möglichkeiten und Probleme lichtwellenleiter-kompatibler Sensoren für nichtoptische Größen

H. Hart, KDT, Berlin

1. Neue Wirkprinzipien und Technologien für Sensoren

Die heutige Meßtechnik kann die in quantitativer und qualitativer Hinsicht steigenden Anforderungen nicht mehr immer voll erfüllen. Den durch die Mikroelektronik geschaffenen Möglichkeiten einer umfangreichen und teilweise auch relativ schnellen Informationsverarbeitung mit einem hohen Bedarf an Primärinformationen stehen die unzureichenden Voraussetzungen einer „vorsintflutlichen" Informationsgewinnung [1] gegenüber. Dabei ist der Engpaß nicht in erster Linie im Bereich der Informationsaufbereitung, sondern auf dem Gebiet der Sensoren zu suchen. Ohne auf terminologische Fragen einzugehen (vgl. [2] u. a.), seien hier unter Sensoren solche Meßfühler verstanden, die mikroelektronik-kompatible Abbildungssignale von (vorwiegend) nichtelektrischen Meßgrößen liefern [3]. Derzeit ist immer wieder zu beobachten, wie versucht wird, unzureichende Primärinformationen durch umfangreiche Verarbeitungsalgorithmen „aufzuwerten" und so weitergehende Aussagen zu gewinnen, als in den ursprünglichen Informationen enthalten waren. Da dies ausgesprochen gefährlich sein kann, muß gefordert werden, das Niveau der Informationsgewinnung entscheidend anzuheben. Das läuft letztlich darauf hinaus, die Versorgung mit mehr und besseren Sensoren zu sichern. Diese quantitative und qualitative Erweiterung des Angebotes kann nicht allein durch Verbesserungen an den vorhandenen Sensoren erreicht werden, sondern es müssen auch neue Wege beschritten werden. Dazu gehören einerseits die Untersuchung und Nutzung neuer Wirkprinzipien und andererseits die Entwicklung neuer Fertigungstechnologien, die es vor allem ermöglichen, große Stückzahlen zu niedrigen Preisen herzustellen [1] [3] [4] [5]. Ein beachtlicher Fortschritt in dieser Beziehung war die Übernahme typischer Halbleitertechnologien für die Sensorherstellung. Dies ist vor allem deswegen bedeutsam, weil dabei im gleichen Herstellungsprozeß nicht nur der eigentliche Sensor, sondern zusätzlich auch elektronische Schaltungen für die Meßsignalformung und -vorverarbeitung erzeugt werden. Das bringt Vorteile hinsichtlich der meßtechnischen Eigenschaften, der Miniaturisierung, der Zuverlässigkeit und nicht zuletzt auch der Kosten. Die piezoresistiven Drucksensoren sind dafür ein bekanntes Beispiel.

Trotz der großen Bedeutung der vorwiegend auf Siliziumbasis hergestellten Halbleitersensoren wurde gleichzeitig eine ganze Reihe anderer Herstellungstechnologien für Sensoren aufbereitet, die für bestimmte Einsatzgebiete (z. B. in der Analysen- und Feuchtemeßtechnik) spezifische Vorteile versprechen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien hier

— Dünn- und Dickschichttechnologien
— Folienschicht-Technologien
— Keramik- und Sintertechnologien sowie
— Glasfasertechnologien

genannt. Von den Erzeugnissen dieser Technologien weisen die lichtwellenleiterkompatiblen Sensoren, speziell die Fasersensoren, einige Besonderheiten auf, die im folgenden kurz diskutiert werden.

2. Besonderheiten lichtwellenleiter-kompatibler Sensoren

Die Verwendung von Licht als Signalträger bietet eine Reihe von Vorteilen, von denen die Störsicherheit gegenüber elektromagnetischen Feldern und die Explosionssicherheit im Rahmen der Lichtwellenleiter-Kurzstreckenübertragung (LLKÜ) in Automatisierungssystemen die gravierendsten sind. Diese und eine Reihe anderer Vorteile (vgl. z. B. [6]) führten zu (sicherlich teilweise illusionären) Erwartungen bezüglich künftiger rein optischer Automatisierungssysteme. Dies ist schon deswegen irreal, weil mit Hilfe von Licht die für viele Stellprozesse erforderlichen Energien nicht

Prof. Dr. rer. nat. habil. *Hans Hart* ist ordentlicher Professor an der Sektion Elektronik der Humboldt-Universität zu Berlin.

übertragbar sind, so daß die meisten Stellglieder ohnehin auf elektrische Versorgungsenergie angewiesen sind.
Außerdem darf nicht übersehen werden, daß Licht als Signalträger auch Nachteile hat [6], von denen die Informationsverluste an den hinsichtlich der Dämpfung schlecht reproduzierbaren Koppelstellen am stärksten ins Gewicht fallen. Aus meßtechnischer Sicht kommen deswegen vorläufig nur Punkt-zu-Punkt-Verbindungen in Frage. Bei Abwägung aller Vor- und Nachteile der optischen Informationsübertragung kann es jedoch in folgenden Fällen nützlich sein, Sensoren, die optische Prinzipien benutzen und/oder optische Ausgangssignale abgeben (abkürzend: Optosensoren), einzusetzen:

— in der LLKÜ (auch für systemkompatible singuläre Lösungen)
— in explosionsgefährdeter oder elektromagnetisch verseuchter Umgebung
— wenn sich gegenüber herkömmlichen Lösungen spezielle Vorteile ergeben, weil sie auf Grund der benutzten Meßprinzipien
  • genauer sind als andere Verfahren,
  • einsetzbar sind, wo andere Verfahren versagen,
  • besonders einfach und damit ökonomisch vorteilhaft sind.

Hohe Genauigkeiten sind beispielsweise durch interferometrische Verfahren erreichbar, und mit metallfreien Sensoren kann ohne Feldbeeinflussung auch in Hochfrequenzfeldern gemessen werden.
Bei lichtwellenleiter-kompatiblen Sensoren wird ein Lichtstrom mit konstanten Eigenschaften über einen Lichtwellenleiter (LWL) (Sender-LWL) an die Meßstelle herangeführt, dort im Sensor meßgrößenabhängig moduliert und über einen zweiten LWL (Empfänger-LWL) zur Auswerteeinrichtung zurückgeleitet (Bild 1). Die Information über den Wert der Eingangsgröße x_e (Meßgröße) wird also auf eine Lichteigenschaft *LE* (Informationsparameter) des Signalträgers Licht abgebildet. Leider beeinflussen die meisten Meßgrößen nur die Lichtenergie (Lichtstrom), erzeugen also amplitudenmodulierte Signale.
Gerade bei diesen Signalen treten jedoch alle Dämpfungsänderungen auf dem Übertragungskanal als Meßfehler in Erscheinung. Es sind dies neben den erwähnten Dämpfungsschwankungen an schlecht reproduzierbaren Koppelstellen die Intensitätsänderungen an LWL-Verzweigungen und Lichtverluste durch LWL-Verbiegungen. Inkonstanz der Lichtemission läßt sich durch eine optische Rückführung (Referenzlicht) als Fehlerquelle weitgehend ausschalten, und durch getaktete (impulsförmige) Ansteuerung der Lichtquelle kann die Wirkung von Fremdlichteinfall eliminiert werden.
Die zukünftigen Bemühungen der Sensorforschung sind u.a. darauf gerichtet, Sensoren zu entwickeln, die entweder durch das verwendete Meßprinzip auf impulsförmige Signale führen oder bei denen überhaupt andere Eigenschaften des Lichtes als Informationsparameter benutzt werden. Diese Eigenschaften können die

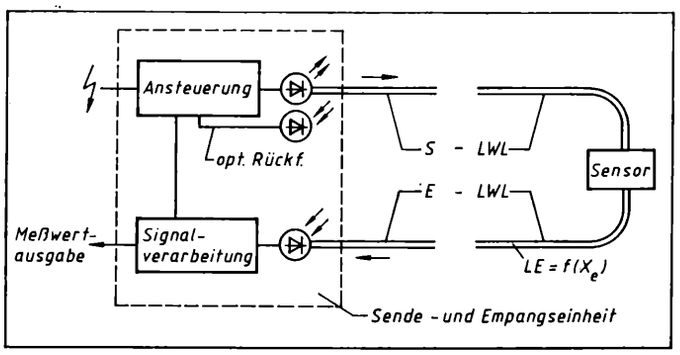


Bild 1. Prinzip einer Meßanordnung mit lichtleiter-kompatiblem Sensor (Bezeichnungen im Text)

— Frequenz bzw. Wellenlänge (Farbe)
— Polarisationsebene oder
— Phasenlage

sein. Auch die Anregung von Sekundärstrahlung (Lumineszenz) ist ein ausnutzbarer physikalischer Effekt. Eine Farbmodulation ist beispielsweise durch Ausnutzung der Bandkantenverschiebung (Urbachsches Gesetz) zu erreichen. Die Drehung der Polarisationsebene läuft bei Auswertung im Analysator auf eine Lichtschwächung hinaus, so daß man wieder amplitudenmodulierte Signale erhält. Die Phasenverschiebungen werden in interferometrischen Anordnungen genutzt, worauf im Abschnitt 4. kurz eingegangen wird.
Mit den Möglichkeiten, Lumineszenzerscheinungen für die Entwicklung lichtwellenleiter-kompatibler Sensoren heranzuziehen, beschäftigt man sich schon seit einiger Zeit. Die Abhängigkeit der Lumineszenzstrahlungsintensität von der Temperatur hat bereits zu einem kommerziell gefertigten Thermometer geführt [7]. Allerdings stellt es in der vorliegenden Form noch keinen lichtwellenleiterkompatiblen Sensor dar [8].
Die Änderung der spektralen Verteilung der Lumineszenzstrahlung mit der Temperatur führt zwar auf ein frequenzmoduliertes Signal; es fragt sich jedoch, ob der Auswerteaufwand eine Anwendung in der Praxis rechtfertigt. Auch die Transmissionseigenschaften des Empfänger-LWL müßten berücksichtigt werden.
Da die Abklingzeit von Lumineszenzstrahlung ebenfalls temperaturabhängig ist, sind auch Thermometer auf Basis dieses Effektes denkbar. Untersuchungen dazu sind an der Sektion Elektronik z.Z. im Gange, worüber an anderer Stelle bereits berichtet wurde [9].
Insgesamt ist festzustellen, daß abgesehen von den interferometrischen Verfahren sowie von zählenden und Binärwertgebern bis-

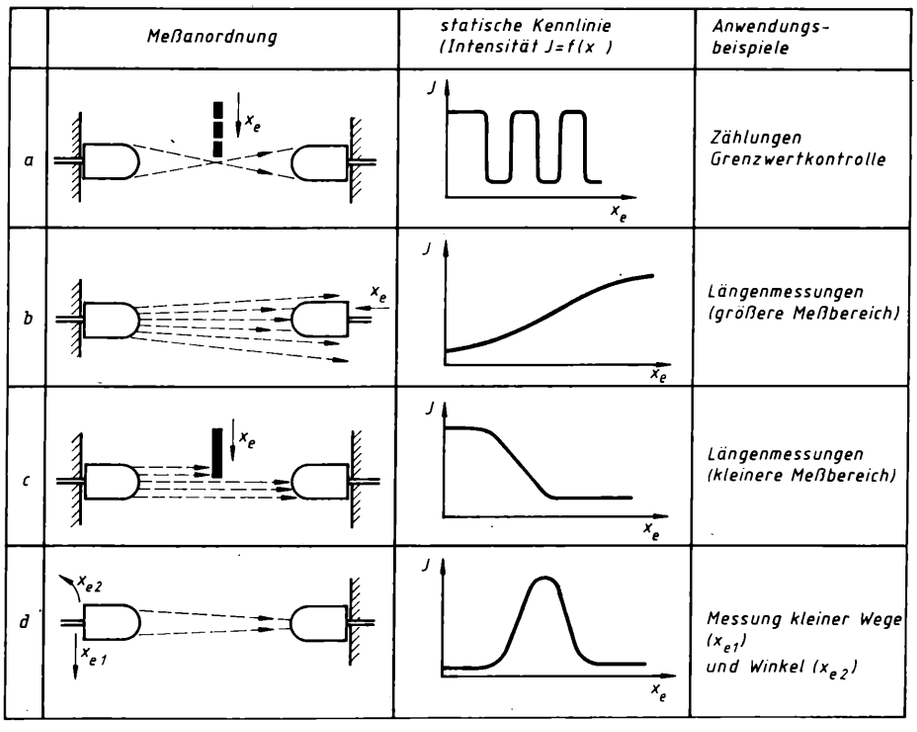
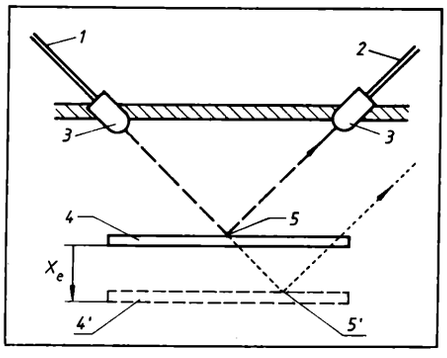


Bild 2. Beispiele für Varianten lichtwellenleiter-kompatibler Absorptionslichtschranken
x_e Eingangsgröße (Meßgröße)
J Lichtstrom
◀

Bild 3. Abstandsmessung mit Reflexionssensor (Schema)
1 Sender-LWL
2 Empfänger-LWL
3 Stablinsen
4 Reflektor (verschiebbar)
5 Auftreffpunkt
4'; *5'* nach Verschiebung um x_e



her noch keine praxisreifen Sensoren vorliegen, die andere als amplidutenmodulierte Signale abgeben.
Die derzeit bekannten lichtwellenleiter-kompatiblen Sensoren lassen sich in zwei Hauptgruppen unterteilen:

— Bekannte Aufnehmer mit Wegänderung als primärem Abbildungssignal und optischer Abtastung dieser Wegänderung
— Festkörpersensoren, in denen optische Effekte zur meßwertabhängigen Steuerung eines Lichtstromes ausgenutzt werden.

3. Optische Abtastung von Aufnehmern mit Wegausgang

Es gibt zahlreiche elektrizitätsfreie Aufnehmer, vor allem für mechanische und thermische Größen, die eine Wegänderung als primäres Abbildungssignal liefern. Die bekanntesten sind die federelastischen Kraftaufnehmer und die Festkörper-Ausdehnungsthermometer. Die optische Abtastung der Wegänderung kann auf vierlei Arten erfolgen, die sich jedoch alle auf die herkömmlichen Lichtschranken (Absorptions- oder Reflexionsschranken) zurückführen lassen. Außer zur Wegabtastung eignen sich Lichtschrankenanordnungen natürlich für Zählvorgänge und als Binärwertgeber. Lichtleiterkompatible Schranken können also prinzipiell für alle Einsatzzwecke verwendet werden, die auch von herkömmlichen Schranken bekannt sind.
Bei Absorptionsschranken sind dies speziell

— Zählvorgänge (Einzelobjekte, lichtdurchlässige Markierungen)
— Grenzwertkontrollen mit binärem Ausgangssignal (Füllstände Werkstückkanten usw.)
— Messung von Wegänderungen ($\triangleq$ Änderung der Lichtschrankenweite)
— Messung kleiner Wegänderungen nach dem Schattenverfahren (im aufgeweiteten, parallelen Lichtbündel)
— Nachweis von Weg- oder Winkeländerungen mit Differentialempfänger.

Infolge der relativ stark divergierenden Strahlenbündel (Öffnungswinkel etwa 15° bis 25°), die aus einem Lichtwellenleiter austreten, eignen sich lichtwellenleiterkompatible Schranken, bei denen sich zwei Lichtwellenleiterenden direkt gegenüber stehen, nur für Entfernungen von wenigen Millimetern, da die Dämpfung mit dem Abstand verständlicherweise sehr schnell beträchtlich ansteigt [10]. Deshalb verwendet man zweckmäßigerweise mikrooptische Hilfsmittel, z. B. Stablinsen [11]. Mit Hilfe der Linsenparameter (Durchmesser, Länge, Krümmungsradius) lassen sich unterschiedlich weite, parallele, konvergierende oder divergierende Lichtbündel erzielen (Bild 2). Mit derartigen Anordnungen kann man zählen (Objekte, Strichraster einschließlich Drehzahlen usw.) oder auch Kodelineale abtasten (Bild 2a). Für die Messung größerer Abstände kommt Anordnung *b* in Frage, während kleine Abstandsänderungen nach *c* und *d* empfindlich nachgewiesen werden können. Auch Drehwinkel lassen sich nach *d* messen [5].
Bei Reflexionslichtschranken befinden sich Sender und Empfänger auf der gleichen Seite des Meßobjektes, während auf der anderen Seite nur ein Reflektor angeordnet ist. Oft ist es auch zweckmäßig, das Meßobjekt bzw. den Aufnehmer mit Wegausgang selbst als Reflektor zu verwenden [12]. In diesem Fall ist zu beachten, daß die Intensität des reflektierten Lichtes auch vom Reflexionsvermögen der Meßobjektoberfläche abhängt, was immer dann, wenn das Reflexionsvermögen nicht Meßgröße ist oder zum Entstehen des Meßeffektes herangezogen wird, als zusätzliche Fehlerquelle berücksichtigt werden muß [11].
Für den Einsatz von Lichtschranken mit speziellem Reflektor hinter dem Meßobjekt kommen die im Bild 2 gezeigten Anordnungen ebenfalls in Frage. Wird der Strahl in sich selbst zurückgeworfen, so muß ein Strahlteiler für abgehendes und ankommendes Licht vorgesehen werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, beide Lichtleiter an die gleiche Stablinse heranzuführen [13], (was allerdings zur Unsymmetrie im Strahlengang führt), und schließlich ist auch eine Schrägeinstrahlung möglich, was eine spiegelnde Reflexionsfläche (also keinen Tripelreflektor) voraussetzt.
Mit den Anordnungen, die das Meßobjekt selbst als Reflektor benutzen, lassen sich folgende Meßaufgaben lösen:

— Untersuchungen von Oberflächen unter Ausnutzung des Reflexionsvermögens (Glanzmessung, Oberflächenfehler-Prüfung usw.)
— Zählung von Einzelobjekten und Markierungen unterschiedlichen Reflexionsvermögens (z. B. Strichraster, Kodierungen, Marken auf rotierenden oder bewegten Teilen)
— Abstandsmessungen (Näherungsschalter für reflektierende Objekte, Schwingungsmessungen [14] usw.).

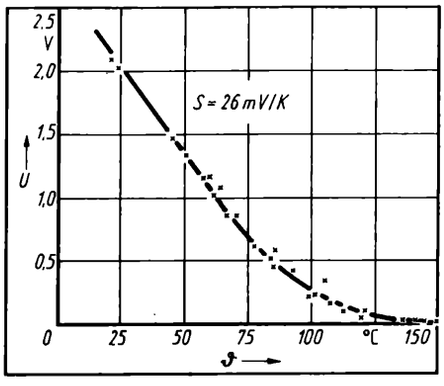


Bild 4
Statische Kennlinie eines Temperatursensors (GaAs) nach dem Prinzip der Absorptionskantenverschiebung
ϑ Temperatur
U Empfänger-Ausgangsspannung
S Empfindlichkeit

Die meßtechnischen Möglichkeiten solcher lichtwellenleiter-kompatiblen Reflexionssensoren sind sehr vielseitig, vor allem auch deswegen, weil neben der abstandsbedingten Lichtschwächung zusätzlich das seitliche Auswandern des Lichtflecks ausgenutzt wird (Bild 3).

4. Fasersensoren

Meßtechnisch bisher seltener genutzte Effekte sind die Basis für eine Reihe von Sensor-Neuentwicklungen, die erst mit der Einführung der LWL Bedeutung erlangt haben. Bei den sogenannten „Fasersensoren", bei denen der Meßeffekt direkt in einem Stück Lichtwellenleiterfaser realisiert wird, ist dies naheliegend.
Aber auch Sensoren aus Halbleitern, Gläsern, Kristallen usw. wurden untersucht. Als Beispiel dafür sei der Faraday-Effekt (Drehung der Polarisationsebene linear polarisierten Lichtes durch ein äußeres Magnetfeld) genannt, der zur Strommessung ausgenutzt wird. Der Sensor besteht aus einem Flintglasblock und einer stromdurchflossenen Spule, die das Magnetfeld erzeugt. Das über LWL herangeführte Laserlicht wird vor Eintritt in das Flintglas linear polarisiert, und die Polarisationsebene wird im Glasblock gedreht. Mit Hilfe einer Lichtaufteilung, zwei Analysatoren und zwei Empfänger-LWL wird die Drehung der Polarisationsebene als Intensitätsverhältnis ausgewertet [15].
Ein (auch hinsichtlich der praktischen Anwendung) recht gut untersuchter Effekt ist die Absorptionskantenverschiebung in ausgewählten Festkörpern [16]. Für Licht konstanter Wellenlänge ist die Absorption in diesen Materialien temperaturabhängig. Diese Abhängigkeit ist bei einer Wellenlänge nahe der Absorptionskante sehr ausgeprägt, so daß sich hohe Empfindlichkeiten erreichen lassen (Bild 4). Für das oft benutzte infrarote Licht von LED's (z. B. VQ 110) wird GaAs oder CdTe als Sensormaterial benutzt. Auch Filtergläser können eingesetzt werden [8].
Vorzugsweise werden neben der Absorption noch die folgenden Effekte für die Entwicklung von Faserfühlern ausgenutzt [6]:

— Vergrößerungen der LWL-Dämpfung durch Verletzung (bzw. Verschlechterung) der Bedingungen für die Totalreflexion
— Änderungen der optischen Weglänge im LWL
— Änderungen des Polarisationszustandes des LWL.

Konstruktiv einfache Sensorvarianten lassen sich durch Anordnungen realisieren, mit deren Hilfe die Bedingungen für die Totalreflexion verletzt werden, so daß Licht aus dem LWL-Kern austritt und damit der dort geführte Lichtstrom reduziert wird. Bei der einen Gruppe von Sensoren werden die geometrischen Parameter geändert, so daß Licht unter anderem Winkel auf die Grenzfläche Kern-Mantel trifft. Ein typisches Beispiel ist der Mikrobiegungssensor, bei dem ein LWL zwischen zwei Riefenplatten hindurchgeführt ist (Bild 5). Abstandsänderungen der Platten (auch durch Kräfte verursachte) führen zur Verbiegung der Faser mit entsprechendem Lichtaustritt aus dem Kern [17]. Bild 6 zeigt die statische Kennlinie eines fünfriefigen Mikrobiegungssensors.
Eine andere Möglichkeit, die Bedingungen für die Totalreflexion zu beeinflussen, besteht in der Verwendung von „nackten" LWL-Kernen (LWL ohne optischen Mantel). In einer Umgebung, deren Brechzahl kleiner als die des Kernes ist, wird das Licht in der nackten Faser mit derselben Dämpfung geführt wie in einer ummantelten Faser. Wird die Umgebungsbrechzahl gleich groß oder größer als die Kernbrechzahl, so tritt Licht aus, und die Dämpfung nimmt zu. Nach diesem Prinzip lassen sich Brechzahlen von Flüssigkeiten oder Füllstände messen [18]. In Flüssigkeiten mit temperaturabhängigen Brechzahlen sind damit auch Temperaturmessungen möglich.

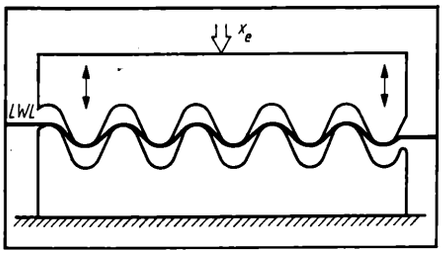
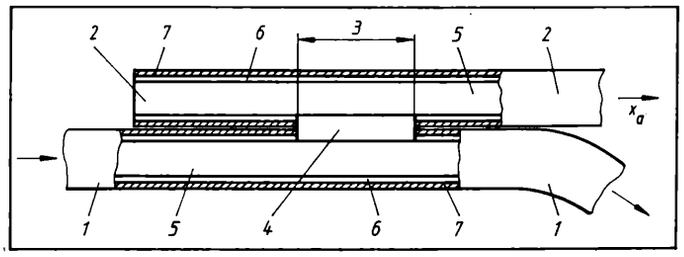


Bild 5. Prinzip des Mikrobiegungssensors
x_e = Weg, Kraft usw.

Bild 7
Fasersensor, der auf Brechzahländerungen der Meßflüssigkeit reagiert [19]
1 Sender-LWL
2 Empfänger-LWL
3 Meßvolumen
4 Meßsubstanz
5 LWL-Kern
6 optischer Mantel
7 Schutzmantel



Eine andere Anwendung von teilweise „nackten" Fasern für die Messung von Flüssigkeitsverunreinigungen und Füllständen [19] zeigt Bild 7. Der Meßeffekt beruht darauf, daß in Abhängigkeit von der Brechzahl der Meßsubstanz mehr oder weniger Licht aus der Faser *1* in die Faser *2* eingekoppelt wird.

Unterschiedliche optische Weglängen in zwei Lichtwellenleitfasern, die in Form eines Interferometers angeordnet sind, (verbreitet sind Mach-Zehnder-Interferometer), führen dazu, daß Lichtimpulse, die auf die beiden Lichtwege aufgeteilt und danach wieder überlagert werden, interferieren. Damit lassen sich hochempfindliche und sehr genaue Meßverfahren aufbauen. Natürlich ist der Aufwand erheblich höher als bei den o.g. Faserfühlern (z.B. Laser oder Laserdioden als Lichtsender, Monomodefasern, zusätzliche Strahlteiler u.a.).

Bei Temperatur- und Druckmessungen wird nur die Signalfaser dem Meßgrößeneinfluß ausgesetzt, der andere LWL ist die Referenzfaser [20]. Für die Messung von (kleinen!) Winkelgeschwindigkeiten laufen Signal- und Referenzlicht in entgegengesetzten Richtungen durch die gleiche, zu einer Spule aufgewickelte Faser, wobei Laufzeitdifferenzen (Phasendifferenzen) auftreten (Sagnac-Effekt). Als Nachweisgrenzen derartiger Fasergyroskope wurden einige hundertstel rad/h erreicht. Der besondere Vorteil dieser Gyroskope ist die im Vergleich zu Kreiselsystemen wesentlich geringere Masse [21] [22].

Die Drehung der Polarisationsebene von linearpolarisiertem Licht in einer Monomodefaser ist z.B. durch ein äußeres Magnetfeld zu bewirken. Für die o.g. Ausnutzung des Faraday-Effektes kommen also auch Faserfühler in Betracht [23]. Eine Faserspule mit 20 Windungen umschließt die Hochspannungsleitung, in der die Stromstärke gemessen werden soll (Bild 8). Absolut sichere Potentialtrennung und Störfreiheit sind Vorteile, die auch einen erhöhten Aufwand (Laserlichtquelle, optische Systeme mit Analysator und Polarisator usw.) rechtfertigen. Weitere Beispiele für Fasersensoren findet man u.a. in [6] [24] [25].

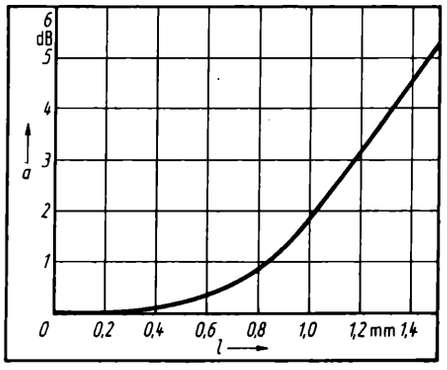
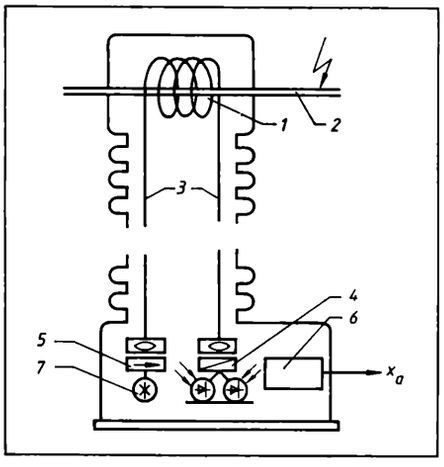


Bild 6
Statische Kennlinie des im Bild 5 gezeigten Sensors
l Verschiebung
a Dämpfung

Bild 8
Magneto-optischer Stromsensor [22]
1 Faserspule
2 Stromleiter
3 LWL
4 Analysator
5 Polarisator
6 Signalverarbeitung
7 He-Ne-Laser



Literatur

[1] *Brendecke, H.:* Mikroelektronik-kompatible Sensoren. tm 50 (1983) 10, S. 359 bis 365
[2] *Hart, W.:* Was ist ein Sensor? Feingerätetechnik, Berlin 31 (1982) 10, S. 470 bis 471
[3] *Bethe, K.:* Zur Situation auf dem Sensormarkt. rtp 26 (1984) 2, S. 51 – 55
[4] *Hofmann, D.:* Entwicklungstedenzen der Sensortechnik. Feingerätetechnik, Berlin 31 (1982) 1, S. 3 – 7
[5] *Hart, H.:* Stand und Perspektiven der Sensorentwicklung Vortr. 3. Tagung Agrophysik, 3. bis 6. 12. 1984 in Reinhardsbrunn
[6] *Hart, H.; Perthel, R.:* Meßfühler für nichtoptische Größen. Feingerätetechnik, Berlin 32 (1983), S. 312 – 315, 357 – 361 und 416 – 418
[7] Fluoroptische Thermometrie. tm 50 (1983) 1, S. 36
[8] *Hart, H.; Härtig, G.; Heinrich, H.-H.:* Neuartige Temperatursensoren mit optischen Ausgangssignalen. Wiss. Z. d. HUB, Math.-Nat. Reihe, 34 (1985) 2, S. 121 – 129
[9] *Hart, H.; Härtig, G.; Heinrich, H.-H.:* Lichtwellenleiterkompatible Temperatursensoren. Wiss. Beiträge IHS Wismar, Sonderheft 3/84, S. 10 – 16
[10] *Hart, H.; Härtig, G.; Werner, H.:* Lichtleiter-Reflexsensor zur Erfassung kleiner Abstandsänderungen. Feingerätetechnik, Berlin 34 (1985) 1, S. 4 – 7
[11] *Regenberg, R.:* Aufbau und Untersuchung eines lichtleiterkompatiblen Reflexsensors. Diplomarbeit. Sektion Elektronik der HUB 1984
[12] *Hart, H.:* Zur Entwicklung von Sensoren mit optischem Ausgangssignal. Vortr. 27. IWK, Ilmenau, 25 bis 29. 10. 1982, Tagungsband, Heft 4, S. 43 – 46
[13] *Regenberg, R.:* Lichtleiterkompatibler Reflexsensor. Gr. Beleg. Sektion Elektronik der HUB, 1983
[14] *Malinskij, V. D.; Hart, H.:* Berührungslose Schwingungsmessung an elektronischen Bauelementen. Feingerätetechnik, Berlin 29 (1980) 1, S. 21 – 23
[15] *Bastian, P.:* Beitrag zum Übertragungsverhalten magneto-optischer Stromwandler. Nachrichtentechnik, Berlin (1973) 1, S. 38
[16] *Hart, H.; Heinrich, H.-H.:* Lichtleiterkompatibles, optoelektronisches Temperaturmeßverfahren. Vortr. „Temperatur '82", 3. bis 5. 11. 1982, Suhl. Tagungsband 67 der KDT Suhl, S. 257 – 263
[17] *Hart, H.; Härtig, G.:* Lichtleitfaser-Sensor nach dem Mikrobiegungsprinzip. Feingerätetechnik, Berlin 33 (1984) 11, S. 502 – 505
[18] *Willsch, R.; Schwotzer, G.; Wende, G.:* Entwicklung intensitätsmodulierter Lichtleitfaser-Sensoren. Wiss. Beiträge IHS Wismar, Sonderheft 3/84, S. 17 bis 22
[19] Oil Pollution Sensor. Vortr. 4.2. auf der 2. Int. Conf. on Optical Fiber Sensors. Stuttgart. 6. bis 7. 9. 1984. (vgl. Ausstellungskatalog S. 9 – 10)
[20] *Hughes, R.; Jarsynski, J.:* Static pressure sensitivity amplification in interferometric fiber-optic hydrophones. Appl. Optics 19 (1980) 1, S. 98 – 104
[21] *Böhm, K.;* u.a.: Low-Noise Fiber Optic Rotation Sensing. Optic Letters 6 (1981), S. 64
[22] *Schiffner, G.:* Lichtleitfaser-Rotationssensor auf der Grundlage des Sagnac-Effekts. Siemens F.- und E.-Ber. 9 (1980) 1, S. 16 – 25
[23] *Papp, A.; Harms, H.:* Magneto optical current transformer. Appl. Optics 19 (1980) 22, S. 3729 – 3734. (s. auch ebenda S. 3735 – 3740 und 3741 – 3745)
[24] *Giallorenzi, T. G.;* u.a.: Optical Fiber Sensor Technology. IEEE J. of Quantum Electronics QE-18 (1982) 4, S. 626 – 665
[25] *Harmer, A. L.:* Principles of optical fibre sensors and instrumentation. Measurement and Contral 15 (1982) 4, S. 143 – 151
[26] *Harmer, A. L.:* Optical Fibre Sensor Markets. Vortr. 1. Int. Conf. on Optical Fibre Sensors.
[27] Fiber optic sensors are donning civvies. Optical Spectra (1981) 6, S. 44 und 46

EA 5549

Lichtwellenleiter für die Kurzstreckenübertragung

F. Brode, KDT, Berlin

Für die Informationsübertragung über kurze Entfernungen (bis 3 km) werden preisgünstige Lichtwellenleiter benötigt, die sich durch eine möglichst einfache Handhabung auszeichnen. Für diesen Anwendungsfall können polymerbeschichtete Kieselglas-Lichtwellenleiter eingesetzt werden.

1. Differentielle Modendämpfung

Der Lichtwellenleiterkern besteht aus Kieselglas und hat einen Durchmesser von 200 µm. Als optischer Mantel wird ein Silikongummi eingesetzt, dessen Brechzahl kleiner ist als die des Kieselglases. Aus dem Lichtwellenleiteraufbau resultieren Eigenschaften, die stark von denen eines Gradienten-Lichtwellenleiters abweichen:

1. Während das Kieselglas eine Dämpfung von einigen dB/km aufweist, beträgt die Dämpfung des optischen Mantels einige dB/m. Daraus ergeben sich stark unterschiedliche Ausbreitungseigenschaften für die einzelnen Modengruppen. Moden höherer Ordnung werden stärker durch den Mantel gedämpft als Moden niedriger Ordnung. Dieser Zusammenhang wird aus der folgenden Beziehung ersichtlich:

$$\alpha_\nu \approx \alpha_{\text{Kern}} + \frac{\nu}{N\,(2\,N - 2\,\nu)^{1/2}}\,\alpha_{\text{Mantel}}\,, \tag{1}$$

$$N = \frac{a^2\,k^2\,(n_1^2 - n_2^2)}{2}\,; \qquad k = \frac{2\,\pi}{\lambda} \tag{2}$$

α_ν Dämpfung der ν-tenMode
α_{Kern} Dämpfung des LWL-Kerns
α_{Mantel} Dämpfung des LWL-Mantels
ν Modenzahl
a Kernradius
n_1 Brechzahl des Kerns
n_2 Brechzahl des Mantels
λ Lichtwellenlänge
N Anzahl der geführten Moden.

Die ersten Messungen der differentiellen Modendämpfung wurden von *Keck* [1] an Stufen-Lichtwellenleitern durchgeführt. Da bei Stufen-Lichtwellenleitern ein direkter Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel und der angeregten Modengruppe existiert, kann unmittelbar aus der Fern-Feld-Intensitätsverteilung die differentielle Modendämpfung bestimmt werden. Im Bild 1 ist die differentielle Modendämpfung eines Stufen-Lichtwellenleiters dargestellt. Der Winkel Θ entspricht einzelnen Modengruppen, wobei kleine Θ-Werte mit Moden niedriger Ordnung und große Θ-Werte mit Moden höherer Ordnung korrelieren. Aus diesen differentiellen Modeneigenschaften des Lichtwellenleiters resultiert eine starke Abhängigkeit der optischen Eigenschaften (Dämpfung, Dispersion, Rückstreuverhalten, Numerische Apertur) von den Anregungsbedingungen (von der Energieverteilung am Lichtwellenleiteranfang).

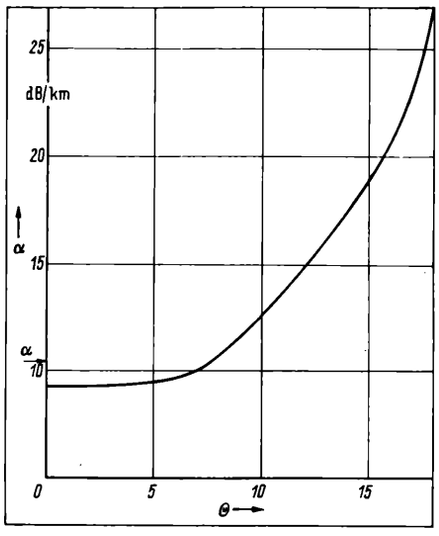
2. Da der optische Mantel des Lichtwellenleiters aus Silikongummi besteht, dessen Brechzahl stark temperaturabhängig ist, ändern sich die optischen Übertragungseigenschaften des Lichtwellenleiters ebenfalls mit der Umgebungstemperatur.

2. Dämpfungskoeffizient

Im Bild 2 ist der spektrale Dämpfungsverlauf eines Stufen-Lichtwellenleiters dargestellt. Infolge des hohen Hydroxylionengehaltes vom Kieselglas sowie durch die Absorption der C-H-Gruppen des Silikongummis [2] wird der spektrale Transmissionsbereich eingeschränkt. Durch die starke Abhängigkeit der Dämpfung von der Wellenlänge müssen die Randbedingungen für die Dämpfungsmessung genau fixiert werden. Im Bild 3 ist die Abhängigkeit der Dämpfung von der spektralen Breite der Lichtquelle für $\lambda = 825\,\text{nm}$ aufgetragen. Vom IEC [2] wurde festgelegt, daß die spektrale Breite der Lichtquelle bei Dämpfungsmessungen so gewählt werden muß, daß keine Verfälschungen durch die Form der spektralen Dämpfungskurve möglich ist. Im Bild 4 ist die Abhängigkeit der Lichtwellenleiterdämpfung von der Wellenlänge für Lichtquellen mit verschiedener spektraler Breite aufgetragen. Die Festlegung des IEC würde bei Lichtwellenleitern mit einer spektralen Dämpfungskurve, wie sie Bild 2 zeigt, bedeuten, daß die Dämpfungsmessungen mit einer Lichtquelle, deren spektrale Breite kleiner als 5 nm ist. durchgeführt werden müssen.

Infolge der differentiellen Modeneigenschaften hängt der Dämpfungskoeffizient stark von den Anregungsbedingungen ab. Im Bild 5 ist die Lichtwellenleiterdämpfung in Abhängigkeit von der Numerischen Apertur des Leuchtflecks aufgetragen. Gleichzeitig ist in der Tafel 1 die Halbwertsbreite der Fern-Feld-Intensitätsverteilung für verschiedene Werte der Numerischen Apertur des Leuchtflecks für die gesamte Lichtwellenleiterlänge und für die Referenzlänge gegenübergestellt. Die Meßbedingungen im KWO wurden so ausgewählt (NA des Leuchtflecks 0,25), daß sich der Lichtwellenleiter über die gesamte Länge im Modengleichgewicht befindet. Wird zur Anregung eine größere Numerische Apertur verwandt, so wirkt sich die hohe Manteldämpfung und damit die hohe Dämpfung der Moden höherer Ordnung dahingehend aus, daß eine hohe Dämpfung im ersten Längenabschnitt auftritt und in dem Maß, wie die Energie, die über Moden höherer Ordnung transportiert wird, abnimmt, die Dämpfung ebenfalls abnimmt [3].

Bild 1
Differentielle Modendämpfung eines Stufen-Lichtwellenleiters



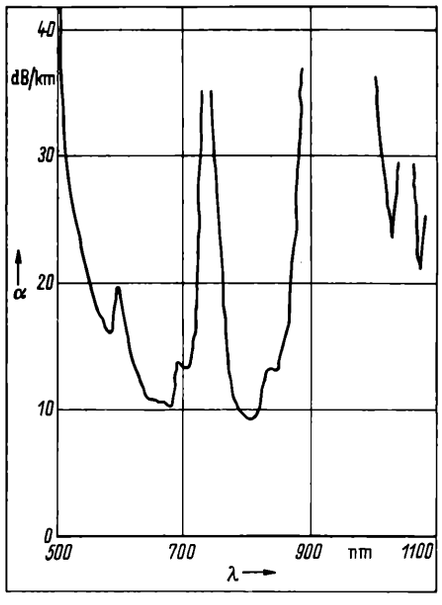


Bild 2
Spektraler Dämpfungsverlauf eines Stufen-Lichtwellenleiters

Dipl.-Phys. *Frank Brode* ist Gruppenleiter im Bereich Forschung und Entwicklung des Kombinats VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck".

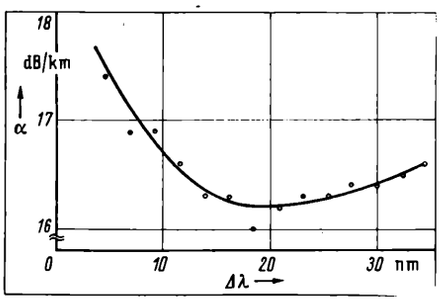
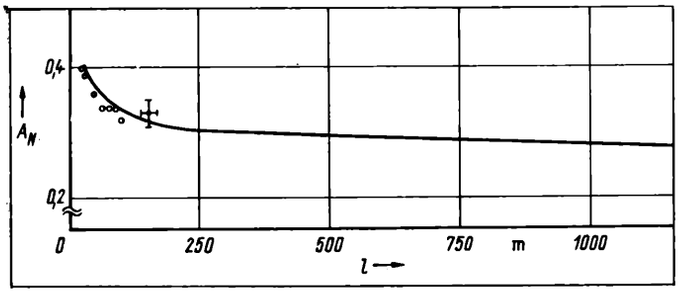


Bild 3
Abhängigkeit der Dämpfung von der spektralen Breite der Lichtquelle, Meßwellenlänge: 825 nm

Bild 6
Abhängigkeit der Numerischen Apertur von der Lichtwellenleiterlänge ▶



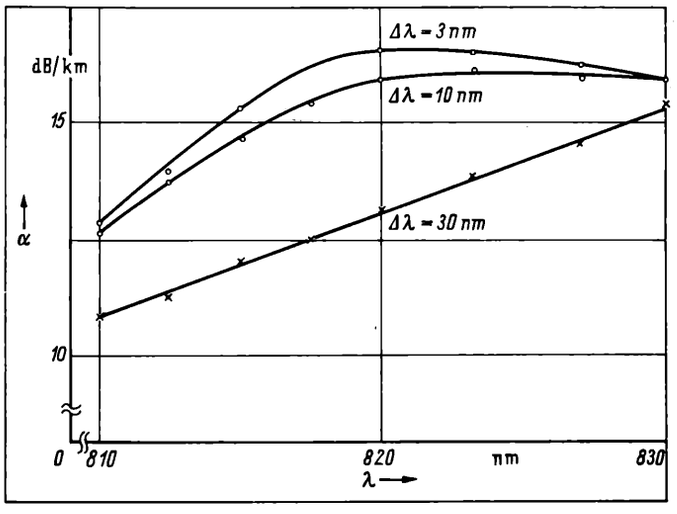


Bild 4. Abhängigkeit der Lichtwellenleiterdämpfung von der Wellenlänge, für Lichtquellen mit verschiedener spektraler Breite

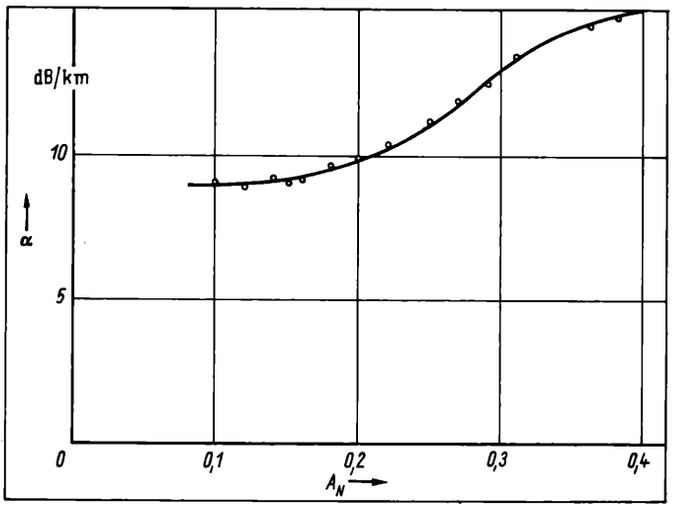


Bild 5. Abhängigkeit der Dämpfung von der Numerischen Apertur des Leuchtflecks Meßwellenlänge: 800 nm, siehe Tafel 1

Tafel 1. Halbwertsbreite der Fern-Feld-Intensitätsverteilung

A_N	A_N am Lichtwellenleiteranfang (3 m)	A_N am Lichtwellenleiterende (763 m)
0,40	0,35	0,26
0,36	0,34	0,26
0,33	0,31	0,26
0,29	0,28	0,26
0,25	0,25	0,26
0,20	0,21	0,24
0,16	0,17	0,24
0,14	0,15	0,22
0,092	0,13	0,22
0,08	0,11	0,22

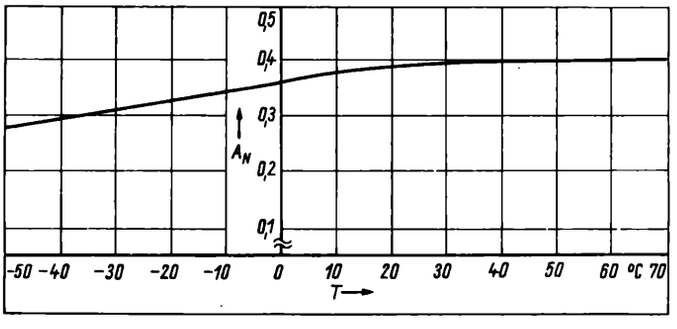


Bild 7. Abhängigkeit der Numerischen Apertur von der Temperatur

3. Impulsdispersion

Bei Stufen-Lichtwellenleitern wird die Bandbreite durch die unterschiedlichen Gruppengeschwindigkeiten jeder Modengruppe begrenzt. Die Impulsverbreiterung wird unter der Annahme hoher Manteldämpfung und damit einer hohen Dämpfung für Moden höherer Ordnung aus der folgenden Beziehung bestimmt:

$$\Delta\tau = \frac{l}{c}\, n\, \Delta\, \frac{t^2\,(\sqrt{1 + 2\,N/t^2} - 1}{n},$$

$$t = N \ln 2\,(\alpha_{\text{Mantel}} - \alpha_{\text{Kern}})\, l,$$

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2\, n_1^2}.$$

Die hohe Manteldämpfung wirkt sich vor allem auf die Moden höherer Ordnung aus (siehe Bild 1), so daß mit zunehmender Manteldämpfung die Impulsverbreiterung kleiner wird. Dieser Zusammenhang konnte experimentell [3] nachgewiesen werden. Die Dispersion der Lichtwellenleiter beträgt 10 bis 20 ns/km und hängt stark von der Energieverteilung am Lichtwellenleiteranfang und von der Lichtwellenleiterlänge ab.

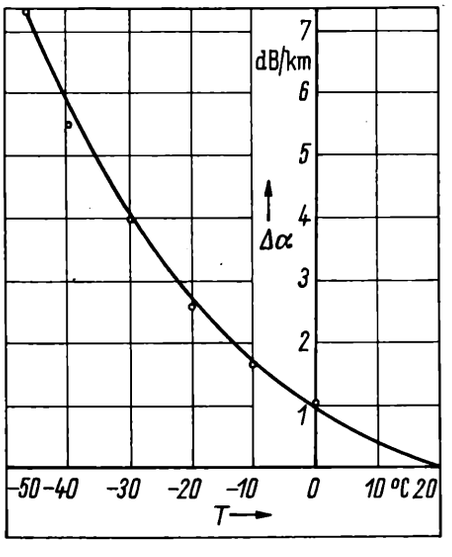


Bild 8
Abhängigkeit der Dämpfung von der Temperatur

4. Numerische Apertur

Der für die Beschichtung verwandte Silikongummi hat eine Brechzahl von 1,406 bei 20 °C. Die aus den Brechzahlen von Kern und Mantel berechnete Numerische Apertur der Lichtwellenleiter beträgt 0,37. Dieser Wert der Numerischen Apertur kann aus der Fern-Feld-Intensitätsverteilung einer kurzen Meßlänge bestimmt werden. Infolge der differentiellen Modendämpfung nimmt die Numerische Apertur mit zunehmender Lichtwellenleiterlänge ab. Erst nach Erreichen des Modengleichgewichtszustandes wird ein Endwert erreicht. Im Bild 6 ist die Abhängigkeit der Numerischen Apertur von der Lichtwellenleiterlänge dargestellt. Nach ungefähr 250 m wird der Modengleichgewichtszustand erreicht. Je größer die Dämpfung der Moden höherer Ordnung, desto kleiner ist die Numerische Apertur, die für die Übertragung ausgenutzt werden kann. Diese Begrenzung der Numerischen Apertur kann durch Mikrokrümmungen und durch geometrische Inhomogenitäten (d.h. durch Modenkonversion) ausgeglichen werden. Im Modengleichgewichtszustand bleibt das Modenvolumen konstant, d.h., es hat sich ein Gleichgewichtszustand zwischen der differentiellen Modendämpfung und der Modenkonversion eingestellt.

5. Temperaturabhängigkeit der optischen Übertragungseigenschaften

Bereits in [3] [4] wurde auf die Temperaturabhängigkeit der Brechzahl des Silikongummis hingewiesen. Im Bild 7 ist die daraus resultierende Abhängigkeit der Numerischen Apertur von der Temperatur dargestellt. Im Bild 8 ist die Abhängigkeit der Dämpfung von der Temperatur aufgetragen. Aus den Abbildungen erkennt man, daß die Lichtwellenleitereigenschaften auch bei —50 ° C noch erhalten bleiben.

Literatur

[1] *Keck, D. B.:* Spatial and temporal power transfer measurements on a low loss optical waveguide. Appl. Optics 13 (1974), S. 1882–1884

[2] *Boganow, A. G.; Bubnov, M. M.:* Lichtleiter aus wasserfreiem Kieselglas und einem reflektierenden Mantel aus Silikongummi. Quantenelektronik 8 (1981) 1, S. 176–178

[3] *Kojima, T.; Yagi, K.:* Polymerbeschichtete Lichtleiter für die optische Übertragung. Showa Electric Wire & Cable Co., LTD

[4] Polymerbeschichtete Kieselglaslichtleiter. Quantenelektronik 7, (1980) 10, S. 2207–2210

EA 5555

Demnächst erscheint im VEB Verlag Technik

Mikroelektronik für Praktiker

Daten — Schaltungen — Anwendungen

Von *K. Schlenzig; D. Jung.* Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 1. Auflage. 320 Seiten, 464 Bilder, 117 Tafeln. Leinen. DDR 32,— Mark. Ausland etwa 44,— DM. Bestell-Nr. 5534663

Für den Einsatz der Mikroelektronik „unterhalb" des Mikroprozessors gibt es heute ein umfangreiches Sortiment moderner Schaltkreise. Diescs Buch stellt ausgewählte Typengruppen vor. Neben einer vollständigen Dokumentation einschließlich der typischen Abhängigkeiten der wichtigsten Parameter werden Schaltungen angegeben. Beides zusammen bedeutet besonders für Praktiker, die in der „nichtelektronischen" Industrie Mikroelektronik einsetzen wollen, aber auch für Amateure und Lernende eine gute Basis zum Kennenlernen und zur Nutzung dieser Schaltkreise. Für einige oft verwendete Schaltungen wurden Leiterplattenvorlagen aufgenommen.
Im einzelnen werden behandelt: Moderne Operationsverstärker (open-collector, BIFET, programmierbare und Leistungsoperationsverstärker), Transistorarrays, der LED-Ansteuerschaltkreis A277D, der AD-Wandler C520D, moderne Stromquellen-Decoder, Timerschaltkreise, Sensor- und Wandlerschaltkreise, Low-Power-Schottky- und CMOS-Digitalschaltkreise sowie die integrierte Spannungsreglerfamilie B3170/B3370 und die Referenzquelle B589N.

Die Redaktion

Lichtwellenleiter-Verbindungstechnik

W. Brunke, KDT, Berlin

Unter den vielen Möglichkeiten, wie z.B. Klebverbinden, Gas- und CO_2-Laserschweißen, wurde das Lichtbogenschweißen als das geeignetste Verfahren zur Herstellung nichtlösbarer Verbindungen von Lichtwellenleitern ausgewählt.

Die Gründe hierfür waren:
— geringe Einfügedämpfung der Verbindungsstelle
— Fertigstellung der Verbindungsstelle innerhalb weniger Minuten
— gute Handhabbarkeit unter Baustellenbedingungen.

Folgende Teilprozesse werden unterschieden:
1. Abisolieren der Kabelmäntel und der Lichtwellenleiter-Sekundär- und Primärbeschichtung
2. Herstellung von planen Lichtwellenleiterendflächen
3. Verschweißen der Lichtwellenleiter
4. Schutz der Schweißstelle.

1. Abisolieren der Kabel- und Aderisolierung

Der Abisoliervorgang verläuft im wesentlichen ähnlich wie bei konventionellen Kabeln. Die hier üblichen Zangen, Messer und sonstigen Werkzeuge werden zum Entfernen der Schutzhüllen, der Außen- und Innenmäntel sowie der Zugentlastung verwendet.
Besonderheiten gegenüber herkömmlichen Kabeln treten beim Abisolieren der Isolierhülle der Lichtwellenleiterader sowie der Primärbeschichtung des Lichtwellenleiters auf.
Für das Abisolieren der Isolierhülle der Ader sind herkömmliche Drahtabisolierzangen geeignet, sofern die Schnittiefe begrenzt werden kann. Beschädigungen des primärbeschichteten Lichtwellenleiters müssen unbedingt vermieden werden, da sie zu Brüchen führen können.
Im Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck" wurde eine Lichtwellenleiter-Abisolierzange durch Modifizierung einer bereits existierenden Abisolierzange für Drähte entwickelt.
Die Primärbeschichtung, die aus einem Silikonelastomers besteht, kann mit mechanischen Abstreifern entfernt werden. Herkömmliche Lackkratzer mit Plasteinsätzen sind zum Abschaben der Schutzschicht geeignet.
Das Abisolieren des Silikonelastomers kann bei besonders festhaftenden Schichten problematisch werden. Ein im VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck" entwickeltes und als Patent angemeldetes Verfahren, das auf der Depolymerisation des Silikonelastomers unter teilweisem Luftabschluß beruht, ermöglicht ein kräftefreies Entfernen der Primärbeschichtung.

2. Herstellung von planen Lichtwellenleiterendflächen

Die zum Herstellen von Lichtwellenleiterverbindungen erforderlichen planen, möglichst senkrecht zur Lichtwellenleiterachse verlaufenden Endflächen werden nach dem sogenannten Kerb-Zieh-Verfahren erzeugt. Dieses Verfahren beruht auf dem aus der Physik der Glasoberfläche bekannten Fakt, daß sich ein Oberflächenriß bei Anwesenheit einer Zugspannung senkrecht zu dieser ausbreitet und zum Glasbruch führt.
Die entsprechenden Verhältnisse wurden 1973 von *Gloge* [1] abgeleitet und führten international zu ähnlichen Geräten.
Bild 1 zeigt die Lichtwellenleiter-Trennvorrichtung LLT-3 mit eingelegtem Lichtwellenleiter vor dem Trennvorgang. Zu erkennen ist das Spannen des Lichtwellenleiters über einen festen und einen beweglichen Spannbock.
Der bewegliche Spannbock wird bei festgeklemmtem Lichtwellenleiter vom starren Spannbock mit definierter Kraft weggedrückt. Der Krümmungsradius, über den der Lichtwellenleiter gespannt wird, ist speziell auf den Lichtwellenleiterdurchmesser abgestimmt. Im Schneidarm ist die Hartmetallschneide zu erkennen.

Dipl.-Phys. *Wolfgang Brunke* ist Gruppenleiter im Bereich Forschung und Entwicklung des Kombinats VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck", Berlin.

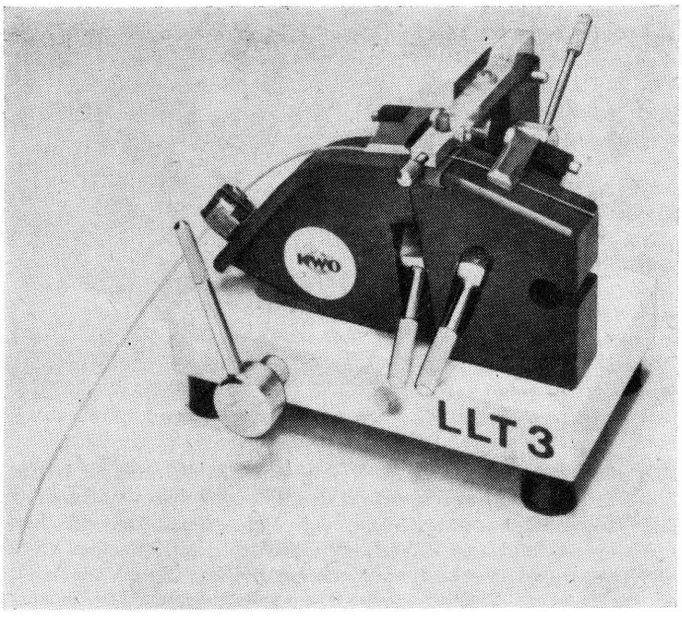


Bild 1. Trennvorrichtung LLT-3

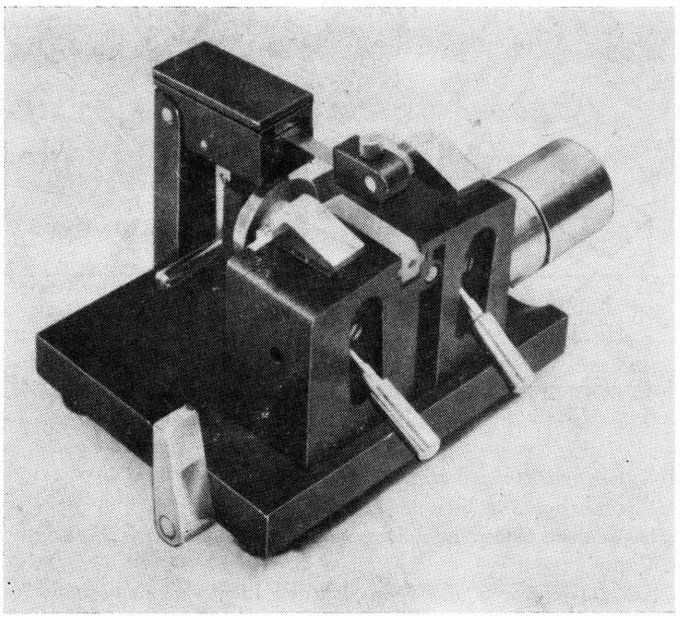


Bild 2. Trennvorrichtung LT 4

Bild 2 zeigt die Trennvorrichtung LT 4, die ebenfalls auf dem gleichen Prinzip beruht, jedoch bezüglich Masse und Volumen speziell für den Einsatz unter Feldbedingungen entwickelt wurde.

Die entstehenden Endflächen sind für die Herstellung von Lichtwellenleiterschweißstellen von ausreichender Qualität. Die Bruchfläche hat spiegelförmiges Aussehen und eine Schräge von unter 5°.

3. Verschweißen der Lichtwellenleiter

Das Schmelzverbinden von Quarzglas-Lichtwellenleitern durch Erwärmung innerhalb der zwischen zwei dotierten Wolframelektroden erzeugten Gasentladung geht auf *Bisbee* [2] und *Kohanzadeh* [3] im Jahr 1976 zurück.

Geräte, die nach diesem Verfahren arbeiten, werden Lichtwellenleiterschweißgeräte genannt.

Das im Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck" in Zusammenarbeit mit der Humboldt-Universität zu Berlin entwickelte Lichtwellenleiter-Schweißgerät LSG 4 zeigt Bild 3. Das Gehäuse enthält den Netzteileinschub und nimmt im Transportzustand den vor dem Gerät stehenden Schweißplatz mit auf.

Der Netzteileinschub stellt mit einem durch einen Regelkreis gesteuerten Transverter die Zündspannung von 4,5 kV und die Lichtbogenbrennspannung von etwa 1 kV zur Verfügung.

Der Lichtbogenstrom ist von 7 bis 25 mA regelbar und gestattet sowohl das Verbinden von 125-µm- als auch 200-µm-Lichtwellenleitern. Das Schweißgerät kann an Aggregaten mit stark schwankender Spannung im Bereich von 180 bis 250 V betrieben werden. Die Schweißzeiten und Ströme sind für 2 Schweißprogramme vorwählbar, auf die weiter unten eingegangen wird.

Den Lichtwellenleiterschweißplatz — die mechanische Baugruppe des Gerätes — zeigt Bild 4.

Hierbei handelt es sich um einen V-Rillen-Manipulator, bei dem die Lichtwellenleiter in 2 Justierrichtungen zwangsgeführt und in der 3. Justierrichtung auf Stoß aneinandergefahren werden. Bild 5 zeigt das Prinzip dieses Manipulators. Im Bild 6 ist der Justierbereich des Lichtwellenleiter-Schweißgerätes LSG 4 zu sehen.

Hauptbestandteile sind das Plättchen mit der V-Rille, die Elektroden sowie die Schwenkarme zum Fixieren der Lichtwellenleiter in der V-Rille. Die mechanische Baugruppe wurde insbesondere für den Einsatz im Kabelschacht konzipiert. Die geringe Grundfläche von 300 cm² und die geringe Masse von 4,0 kg gestatten auch das Arbeiten unter beengten Verhältnissen. Der Schweißbereich befindet sich im hinteren Teil des Gerätes, um kurze Absetzlängen der Lichtwellenleiterader zur Lichtwellenleitermuffe zu gewährleisten.

Das Mikroskop ist über der mechanischen Baugruppe klappbar angebracht, damit die Beurteilung der Endflächen vor dem Verschweißen sowie die Beobachtung des Schweißprozesses möglich ist.

Mit dem Mikroskop gekoppelt ist der Berührungsschutz der Elektroden. Diese sind beim Schweißvorgang mit einer durchsichtigen Abdeckhaube gesichert. Beim Einlegen der Lichtwellenleiter in die mechanische Baugruppe ist das Mikroskop abgeklappt, und ein Schalter verhindert, daß Spannung an den Elektroden anliegt. Den Verfahrensablauf beim Schweißen zeigt Bild 7.

Bild 3. Lichtwellenleiterschweißgerät LSG 4

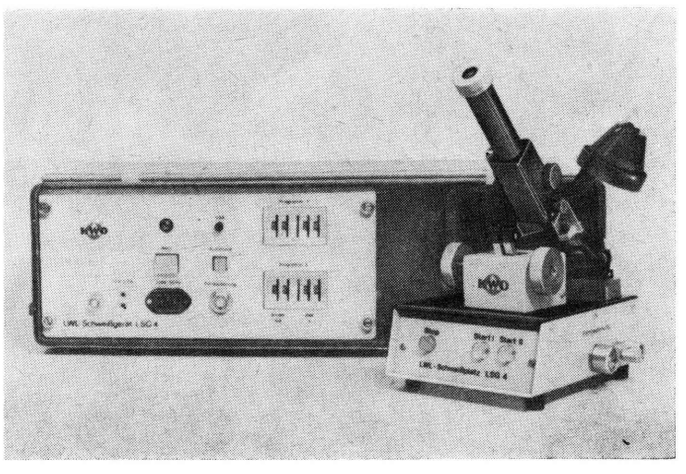
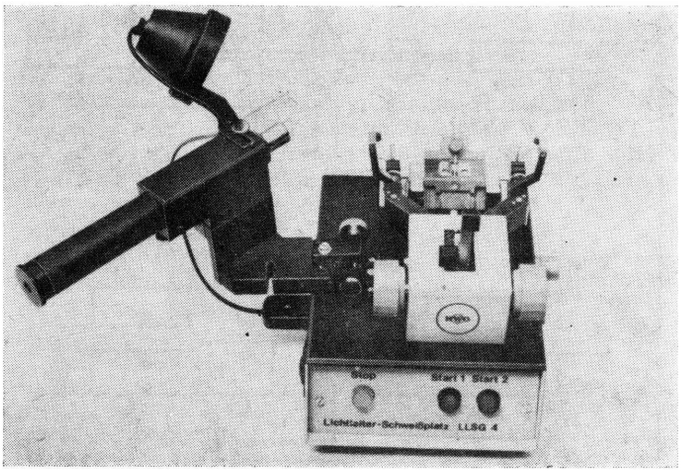


Bild 4. Lichtwellenleiterschweißplatz (mechanische Baugruppe)



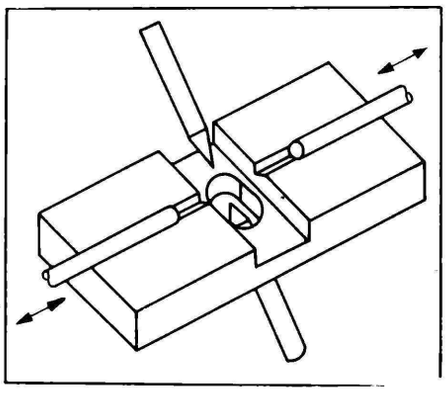


Bild 5. Prinzip des V-Rillen-Manipulators

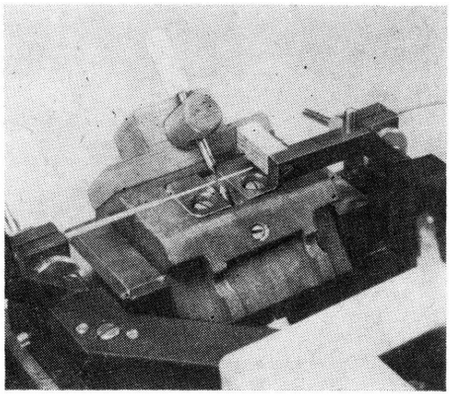


Bild 6. Justierbereich LSG 4 ▶

Folgende Schritte sind erforderlich:

1. Fixieren und Justieren der Lichtwellenleiter
2. Definierten Lichtwellenleiterabstand einstellen
3. Vorschmelzen
4. Aneinanderfahren und Schweißen der Lichtwellenleiterenden.

Im ersten Verfahrensschritt müssen die zu verschweißenden Lichtwellenleiter nach dem Fixieren Stirnfläche an Stirnfläche justiert werden. Diese für die haardünnen 125-µm-Lichtwellenleiter schwierige Aufgabe wird durch den Selbstzentriereffekt wesentlich erleichtert:
Aufgrund der im flüssigen Glaszustand wirkenden Oberflächenspannung gleicht der Erwärmungsvorgang einen Versatz bis zu 10 µm an den Stirnflächen aus und richtet den Spleißbereich gerade aus.
Nach der erfolgten Ausrichtung der Lichtwellenleiterendflächen zueinander erfolgt der 2. Verfahrensschritt, das Einstellen eines definierten Endflächenabstandes, um ein gleichmäßiges Vorschmelzen der Enden (3. Verfahrensschritt) zu gewährleisten. Das ist notwendig, um eventuelle Staubpartikeln wegzubrennen, geringe Unregelmäßigkeiten der Lichtwellenleiterenden zu beseitigen sowie beim nachfolgenden Schweißvorgang den Einschluß von Luftblasen durch die konvexe Ausbildung der Kernendflächen zu verhindern.
Die mit dem Lichtwellenleiterschweißgerät LSG 4 an 125-µm-

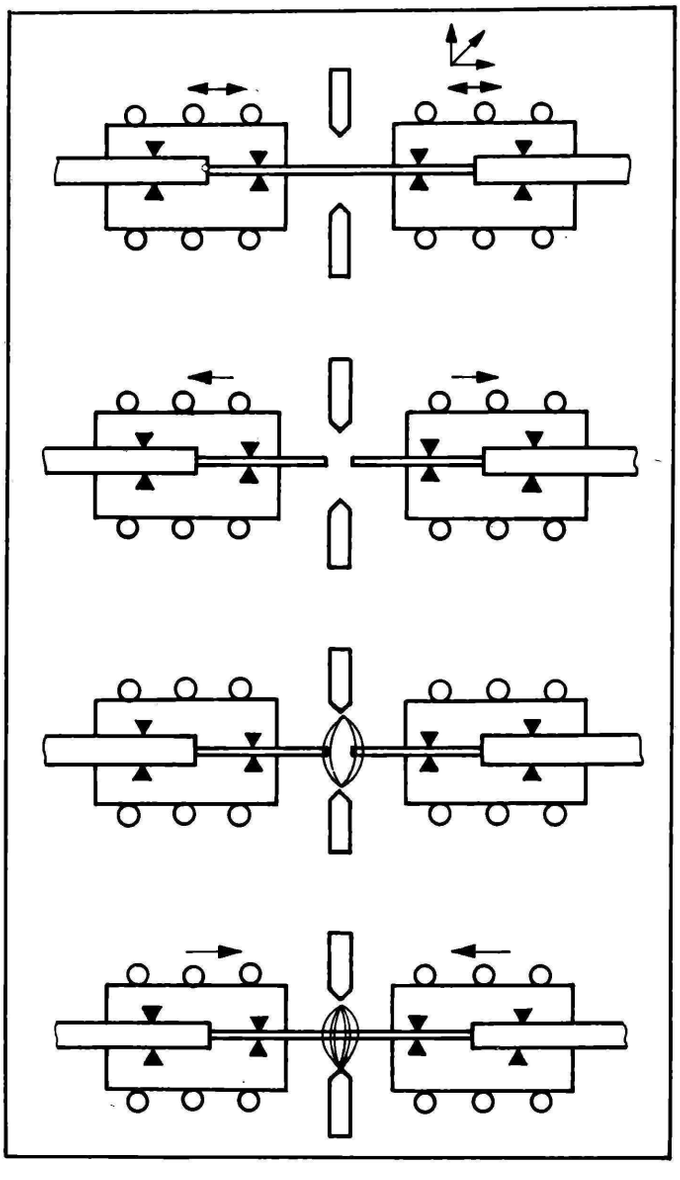
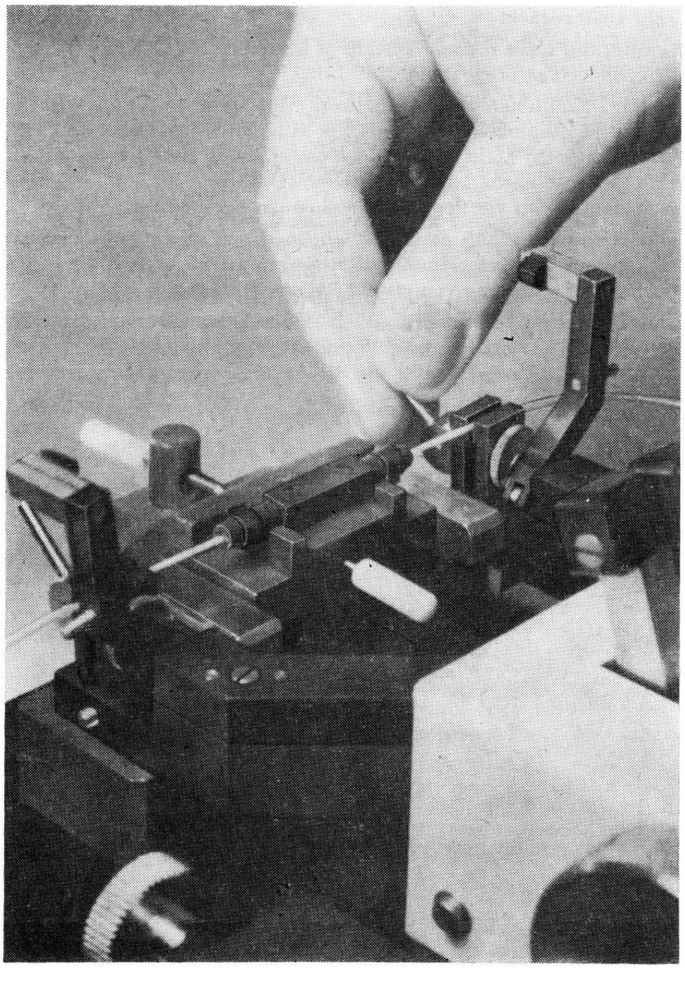


Bild 7. Verfahrensablauf beim Schweißen von Lichtwellenleitern ◀
1 Fixieren und Justieren der Lichtwellenleiter
2 Definierten Lichtwellenleiterabstand einstellen
3 Vorschmelzen
4 Aneinanderfahren und Schweißen

Bild 8. Schutz der Schweißstelle



Gradienten-Lichtwellenleitern erreichbaren Dämpfungen liegen im Regelfall unter 0,5 dB. Eine Labormeßserie ergab als Mittelwert der Spleißgrunddämpfung $a = 0{,}13$ dB $\pm$ 0,08 dB bei folgender Meßanordnung: Sender mit 70% Leuchtfleck- und 70% NA-Anregung, 3 m bis zur Trennstelle, 1000 m Nachschaltlänge. Diese Meßbedingungen mit reduzierten Anregungsbedingungen entsprechen den Bedingungen im Weitstreckenverkehr.

Wie stark die erreichbaren Mittelwerte von den Meßbedingungen abhängen, ist aus der Fachliteratur bekannt [4]. Die Meßwertänderung aufgrund unterschiedlicher Anregungsbedingungen des Lichtwellenleiters kann die Größe des eigentlichen Meßwertes erreichen. Die besten Werte werden bei langer Vorschalt- und kurzer Nachschaltlänge erreicht, die schlechtesten bei langer Vorschalt- und Nachschaltlänge, was den Messungen mit reduzierten Anregungsbedingungen entspricht. Zusätzlich zur Spleißgrunddämpfung, die beim Verbinden identischer Lichtwellenleiter entsteht, sind noch Zusatzdämpfungen aufgrund von Schwankungen von Lichtwellenleiterparametern zu beachten. Hierbei sind die wichtigsten: Durchmesserschwankungen und Schwankungen der Numerischen Apertur.

Beim Übergang vom großen zum kleinen Parameter können Zusatzdämpfungen auftreten. Beispielsweise entstehen beim Übergang von einem 54-µm- auf einen 50-µm-Kern etwa 0,8 dB und beim Übergang von einer NA von 0,22 auf eine NA von 0,20 etwa 1,0 dB. Diese Werte sind als Maximalwerte anzusehen, die nur bei gleichmäßiger Energieverteilung über den gesamten Querschnitt auftreten. Entscheidend ist jedoch, daß mit Zusatzdämpfungen in der Größenordnung der Spleißgrunddämpfung zu rechnen ist.

4. Schutz der Schweißstelle

Lichtwellenleiterschweißstellen haben eine geringere Festigkeit als der Ausgangslichtwellenleiter. Sie sind insbesondere gegen Krümmungen zu schützen. Aufgrund dessen ist es international üblich, Lichtwellenleiterschweißstellen starr festzulegen. Bild 8 zeigt den Schutz der Schweißstelle im Schweißgerät.

Mit Hilfe eines Hebelsystems kann das V-Plättchen nach dem Schweißen unter der Schweißstelle abgesenkt und eine Schutzhülsenhalbschale unter dieser angebracht werden. Diese Halbschale wird mit einem Silikonelastomer zur Wiederherstellung der Primärummantelung ausgefüllt und eine zweite Halbschale darauf mittels Federn arretiert.

Die Halbschalen werden auf den Adermantel gepreßt und stellen die kraftschlüssige Verbindung zwischen beiden Adern her. Für besondere Anwendungsfälle enthalten die Schutzhülsen in der Mitte ein metallisches U-Profil. Die z. Z. erreichten Mittelwerte der Zugfestigkeit von ungeschützten Lichtwellenleiter-Schweißstellen liegen im Bereich von 400 bis 550 N/mm².

Die von einer Schutzhülle umgebene Schweißstelle wird in einer Fernmeldemuffe bzw. in einem Endverschluß endgültig gelagert, um den entsprechenden Schutzgrad gegenüber Umwelteinflüssen zu erreichen. Ein entsprechendes Muffen- und Endverschlußsortiment des Kombinats VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck" steht hierfür zur Verfügung.

Literatur

[1] *Gloge, D.;* u.a.: Optical fiber end preparation for low-loses splices. Bell. Syst. Tech. I., New York, 52 (1973) S. 1574 – 1583

[2] *Bisbee, D. L.:* Splicing silica fibers with an electric arc. Applied Optics, Washington. 15 (1976) 3, S. 796 – 798

[3] *Kohanzadeh, Y.:* Hot splices of optical waveguide fiber. Applied Optics Washington, 15 (1976) 3, S. 793 – 795

[4] *Cooper, R.:* Connector Splice Loss Measurements: Laboratory VS Real World. Communications international, London, 10 (1983) 4, S. 44 – 51

EA 5556

Methoden zur reproduzierbaren Messung von Vielmodenlichtwellenleitern

F. Brode, KDT, Berlin

Bei der Fertigung von Lichtwellenleiterkabeln muß eine Vielzahl von Parametern und Eigenschaften überprüft werden. Im Bild 1 sind die wichtigsten Lichtwellenleitereigenschaften unterteilt nach

— Übertragungseigenschaften
— Abmessungen
— mechanischen Eigenschaften
— Klima- und Umgebungseinflüssen

dargestellt. Während die Prüfmethoden zur Bestimmung der Abmessungen, der mechanischen Eigenschaften und der Klima- und Umgebungseinflüsse weitestgehend mit den Verfahren übereinstimmen, die für die Beurteilung der klassischen Kabel eingesetzt werden, mußten neue Verfahren und Methoden zur Bestimmung der optischen Übertragungseigenschaften entwickelt werden. Vergleichsmessungen, die von verschiedenen Herstellerfirmen an ein und demselben Muster durchgeführt wurden, zeigten Abweichungen, die über dem Meßfehler lagen [1] [2]. Diese Unterschiede sind im wesentlichen auf die noch nicht abgeschlossene Standardisierung der Definitionen der Meßgrößen und der Anregungsbedingungen zurückzuführen [3].

1. Einfluß der Anregungsbedingungen

Der Einfluß der Anregungsbedingungen auf die Dämpfungs- und Dispersionsmessungen resultiert aus den unterschiedlichen Ausbreitungseigenschaften der einzelnen Moden. Die höhere Manteldämpfung sowie Störungen und Verunreinigungen der Kern-Mantel-Grenzfläche führen zu einer Erhöhung der Dämpfung von Moden höherer Ordnung. Die Moden höherer Ordnung zeichnen sich aber auch durch größere Laufzeiten aus. Inhomogenitäten, Schwankungen der geometrischen Abmessungen sowie Mikrokrümmungen führen zur Modenkonversion, d.h. zum Energieaustausch zwischen den Moden. Nach großen Lichtwellenleiterlängen stellt sich ein Modengleichgewichtszustand ein, der sich dann bei statistisch gleicher Verteilung der Fehler über der Länge nicht mehr mit der Länge ändert. Nur wenn sich ein Modengleichgewichtszustand ausgebildet hat, kann ein konstanter Dämpfungskoeffizient angegeben werden. Werden die Moden bei der Messung der Übertragungseigenschaften in irgendeiner willkürlichen Weise angeregt, so zeigen die Meßergebnisse nicht die Gesamteigenschaften der Lichtwellenleiter, sondern nur die Antwort der Lichtwellenleiter auf diese speziellen Anregungsbedingungen. Um vergleichbare und reproduzierbare Meßergebnisse zu erhalten, werden Einkoppelbedingungen angestrebt, die die ausbreitungsfähigen Moden in etwa so anregen, wie sie im Modengleichgewicht angeregt sind. Vom IEC werden die im Bild 2 dargestellten Methoden zur Realisierung reproduzierbarer Einkoppelbedingungen, mit denen gezielt die Lichtwellenleiter im Modengleichgewicht angeregt werden, vorgeschlagen.

1. Bei der ersten Methode wird dem zu messenden Lichtwellenleiter ein Hilfslichtwellenleiter großer Länge, an dessen Ende bereits Modengleichgewicht herrscht, vorgeschaltet. Dieser Hilfslichtwellenleiter ist vom gleichen Typ wie der zu messende Lichtwellenleiter. Mit großer Sorgfalt muß die Lichtwellenleiter-Lichtwellenleiter-Koppelstelle justiert werden [4], denn nur in diesem Fall wird die Intensitätsverteilung des Hilfslichtwellenleiters auch in dem zu messenden Lichtwellenleiter angeregt. Diese Methode hat die folgenden Nachteile:
   — Bei sehr hochwertigen Lichtwellenleitern wird das Modengleichgewicht erst nach einigen Kilometern erreicht, so daß große Vorschaltlängen erforderlich sind.
   — Die notwendige Genauigkeit bei der Lichtwellenleiter-Lichtwellenleiter-Koppelstelle ist nur mit hohem Aufwand zu gewährleisten. Es wurde nachgewiesen, daß selbst optimale

Dipl.-Phys. *Frank Brode* ist Gruppenleiter im Bereich Forschung und Entwicklung des Kombinats VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck".

Bild 1. Übersicht über die wichtigsten Lichtwellenleitereigenschaften

Übertragungseigenschaften	Abmessungen	Mechanische Eigenschaften	Klima- und Umgebungseinflüsse
Dämpfung Impulsdispersion Numerische Apertur Brechzahlprofil Rückstreuverhalten	• Durchmesser und Exzentrizität von Kern, Mantel und Schutzschichten sowie Toleranzen • Fehler im konzentrischen Schichtaufbau	• Zugfestigkeit • Biegewechselbeständigkeit • Torsionsbeständigkeit • Vibrationsfestigkeit • Abriebfestigkeit • Querdruckfestigkeit • Schlagfestigkeit	• maximal zulässige Temperatur • minimal zulässige Temperatur • Temperaturwechsel – Beständigkeit • Feuchtigkeits-Beständigkeit • Chemische Beständigkeit • Unempfindlichkeit gegenPilzbefall • Strahlungsfestigkeit • Feuerfestigkeit • Kälteschlagbeständigkeit • Kältewickelbeständigkeit • Wärmedruckbeständigkeit

Spleiße Modenkonversion und damit die Zerstörung der Modengleichgewichtsverteilung von mindestens 5% hervorrufen, während Spleiße mit guten Dämpfungseigenschaften ($< 0{,}2$ dB) bis zu 15% Modenkonversion verursachen [8].

2. Bei der zweiten Methode wird in den Lichtwellenleiter beliebig Licht eingekoppelt und mit einem Modenwandler über eine kurze Lichtwellenleiterlänge das Modengleichgewicht eingestellt. Die entstehenden Mantelmoden werden durch einen Modenabstreifer eliminiert. Es gibt verschiedene Anordnungen, die zur Modenwandlung herangezogen werden. Im allgemeinen basieren die Modenwandler auf dem Prinzip der möglichst gezielten Mikrokrümmungen bzw./und Krümmungen. Die meisten Modenwandler erzeugen eine Energieverteilung, bei der alle ausbreitungsfähigen Moden gleich angeregt sind. Diese Energieverteilung ist jedoch nicht identisch mit dem Modengleichgewichtszustand. Zur reproduzierbaren Einstellung des Modengleichgewichtszustandes werden Modenwandler mit definierten Krümmungen [9] eingesetzt.
3. Bei der dritten Methode wird mit einem optischen Abbildungssystem [9] ein im Durchmesser und in der Numerischen Apertur einstellbarer Leuchtfleck auf die Stirnfläche des Lichtwellenleiters abgebildet. Diese Methode zeichnet sich durch hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit aus. Um die gesamte Lichtwellenleiterlänge im Modengleichgewicht anzuregen, müssen die folgenden Einkoppelbedingungen genutzt werden:
   — der Leuchtfleckdurchmesser beträgt 70% des Kerndurchmessers,
   — die Numerische Apertur des Leuchtflecks beträgt 70% der Numerischen Apertur des Lichtwellenleiters.

Zur Beurteilung der Anregungsbedingungen werden vom IEC die folgenden Bewertungsmaßstäbe empfohlen [5]: Ein Gradienten-Lichtwellenleiter mit einer theoretischen Numerischen Apertur von 0,2 und einem Kerndurchmesser von 50 µm soll 2 m nach dem Lichtwellenleiteranfang die folgenden Eigenschaften bei $\lambda = 850$ nm aufweisen:

— die Halbwertsbreite der Intensitätsverteilung des Nah-Feldes soll 26 ± 2 µm und
— die Halbwertsbreite der Intensitätsverteilung des Fern-Feldes soll $0{,}11 \pm 0{,}02$ betragen.

Bei Verwendung der reduzierten Anregungsbedingungen (70%/70%) werden diese Forderungen erfüllt. Die Anwendung dieser Anregungsbedingungen bei Dispersionsmessungen bereitet Schwierigkeiten, da die Geometrie der abstrahlenden Fläche der Halbleiterlaserdioden höhere Verluste nach sich zieht. Für diese Messungen hat sich der Einsatz von Modenwandlern bewährt. Als besonders geeignet haben sich SGS-Modenwandler erwiesen [6]. Dieser Modenwandler besteht aus kurzen Lichtwellenleiterstücken, die zu einer Länge verschweißt wurden. Dabei wird der Anfang und das Ende durch einen Stufen-Lichtwellenleiter gebildet. In der Mitte befindet sich ein Gradienten-Lichtwellenleiter. Durch den SGS-Modenwandler wird erreicht, daß sich die Modenverteilung des zu prüfenden Lichtwellenleiters nicht ändert, wenn

- Änderungen in der Lichtquelle auftreten (Abstrahlwinkel, Abstrahlfläche),
- Änderungen in der Kopplung zwischen Lichtquelle und Modenwandler entstehen,
- Änderungen an der Verbindungsstelle Modenwandler und zu prüfender Lichtwellenleiter auftreten.

Die Konstanz der im zu prüfenden Lichtwellenleiter angeregten Modenverteilung garantiert die Reproduzierbarkeit der Dispersionsmessungen.

In dem für die Nachrichtenübertragung in Frage kommenden Wellenlängenbereich von 0,8—1,6 µm wird die Dämpfung vor allem durch die folgenden beiden Effekte bedingt:

- Absorption — hervorgerufen durch Verunreinigungen des Glases, z. B. mit Ionen der Übergangsmetalle sowie durch Hydroxylionen und
- Streuung — Hierbei dominiert die Rayleigh-Streuung, die sowohl durch mikroskopische Inhomogenitäten als auch durch eingefrorene thermische Fluktuationen in der Mikrostruktur amorpher Stoffe entsteht.

Weitere Verluste entstehen durch Mikrokrümmungen, die bei einem unter Zugspannung gekrümmten Lichtwellenleiter auftreten, sowie durch herstellungsbedingte geometrische Schwankungen der Abmessungen.

2. Bestimmung der Dämpfung

Zur Bestimmung der Dämpfung wird entweder das Abschneideverfahren oder die Rückstreumessung verwandt. Im Bild 3 ist das Blockschaltbild eines Dämpfungsmeßplatzes für Messungen nach dem Abschneideverfahren dargestellt. Es besteht im wesentlichen aus einer Lichtquelle, deren Licht über eine Einkoppelvorrichtung auf die Stirnfläche des Lichtwellenleiters fokussiert wird, sowie dem Empfänger, bestehend aus einem optoelektrischen Wandler, im

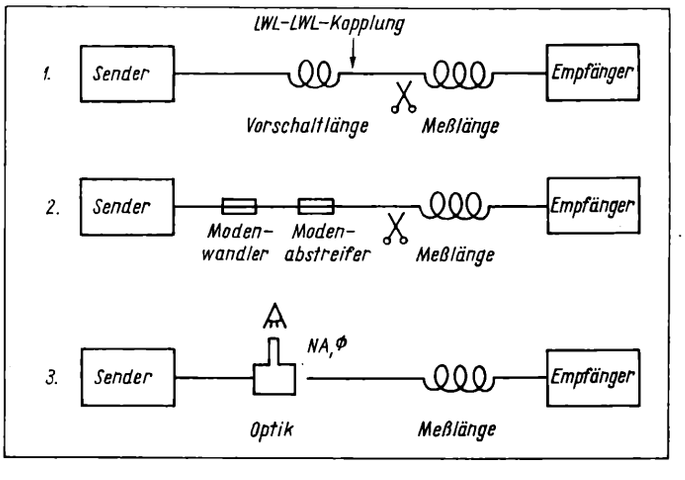
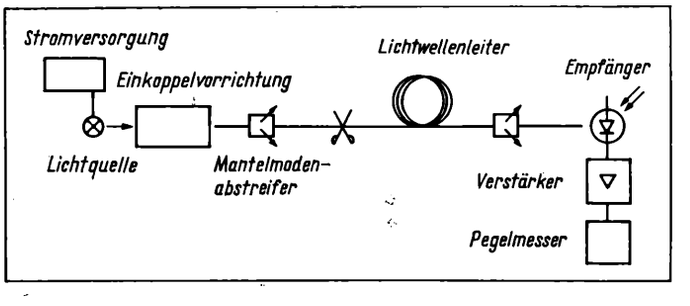


Bild 2. Methoden zur Anregung des Modengleichgewichtszustandes in Lichtwellenleitern

◀

Bild 3. Blockschaltbild eines Dämpfungsmeßplatzes für Messungen nach dem Abschneideverfahren



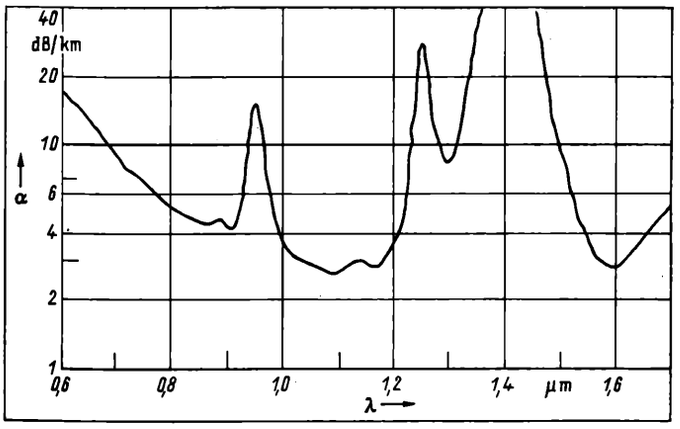


Bild 4. Spektraler Dämpfungsverlauf eines Gradienten-Lichtwellenleiters

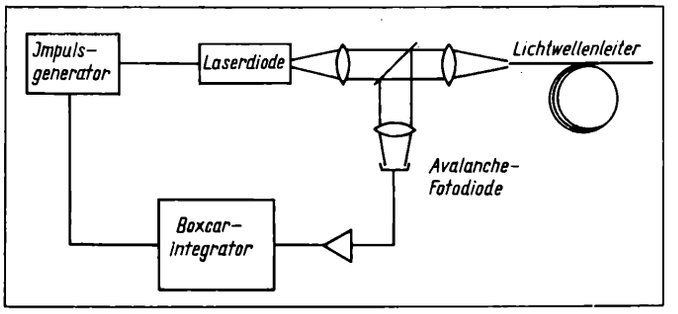


Bild 6. Blockschaltbild eines Fehlerortungsgerätes

allgemeinen einer Fotodiode, und einem Pegelmesser. Zur Dämpfungsmessung nach der Abschneidemethode muß die Leistung am Ende des gesamten Lichtwellenleiters sowie die Leistung am Ende der Referenzlänge ohne Veränderung der Anregungsbedingungen bestimmt werden. Aus dem Verhältnis dieser beiden Werte kann die Dämpfung bei der Wellenlänge der Lichtquelle ermittelt werden. Als Lichtquelle dienen häufig Lumineszenz- oder Laserdioden. Will man die Dämpfung über einen größeren Wellenlängenbereich (von 0,5 bis 1,6 μm) bestimmen, so werden Halogenlampen in Verbindung mit Spiegelmonochromatoren genutzt. Die ausgemessene Abhängigkeit der Dämpfung von der Wellenlänge wird als spektraler Dämpfungsverlauf bezeichnet und ist ein wichtiges Hilfsmittel für den Entwickler von Lichtwellenleitern.

Im Bild 4 ist die spektrale Dämpfung für einen Gradienten-Lichtwellenleiter dargestellt. Aus den verschiedenen Dämpfungsmaxima können unter anderem Rückschlüsse über die im Lichtwellenleiter enthaltenen Verunreinigungen und deren Konzentrationen gezogen werden. Der spektrale Dämpfungsverlauf ist aber auch ein wichtiges Hilfsmittel zur Optimierung der Herstellungstechnologie von Lichtwellenleitern.

Bild 5 zeigt einen typischen Dämpfungsmeßplatz mit reduzierten Anregungsbedingungen.

Zur Lokalisation von Brüchen bzw. Inhomogenitäten bedient man sich der Impulsreflektometrie.

Im Bild 6 ist das Blockschaltbild eines Fehlerortungsgerätes dargestellt. Als Lichtquelle dient ein Halbleiterlaser, der von einem Impulsgenerator angesteuert wird. Er emittiert sehr kurze Lichtimpulse, die über ein Linsensystem annähernd zu einem Parallelstrahl gebündelt und dann über einen Strahlenteiler aufgeteilt werden. Der Hauptanteil wird anschließend erneut fokussiert und trifft auf die Kernfläche des zu testenden Lichtwellenleiters, wo die Impulse teilweise reflektiert und teilweise in den Lichtwellenleiter eingekoppelt werden. An jeder Störstelle im Lichtwellenleiter wird ein Teil reflektiert. Dieses Echo gelangt zurück auf den Strahlenteiler und von dort über ein weiteres Linsensystem auf eine Lawinen-Fotodiode. Der zeitliche Abstand zwischen diesem letzteren und dem ursprünglichen, an der Lichtwellenleiter-Stirnfläche partiell

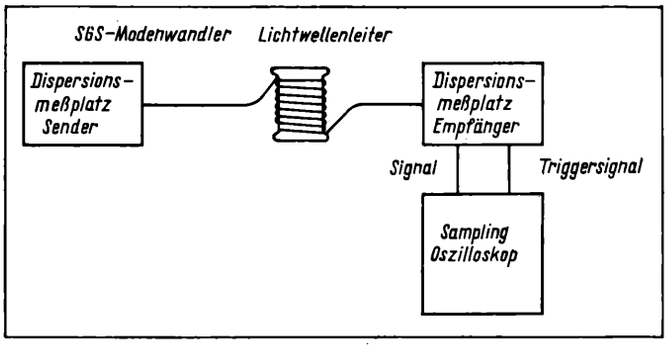


Bild 7
Blockschaltbild eines Dispersionsmeßplatzes

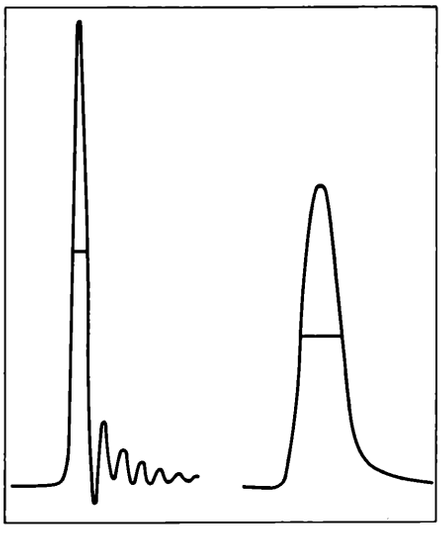


Bild 8
Impulsform am Lichtwellenleitereingang und am Lichtwellenleiterausgang
links: Eingangsimpuls, Halbwertsbreite: 300 ps
rechts: Impuls am Lichtwellenleiterende, Halbwertsbreite: 1,55 ns

Bild 5. Dämpfungsmeßplatz mit reduzierten Anregungsbedingungen

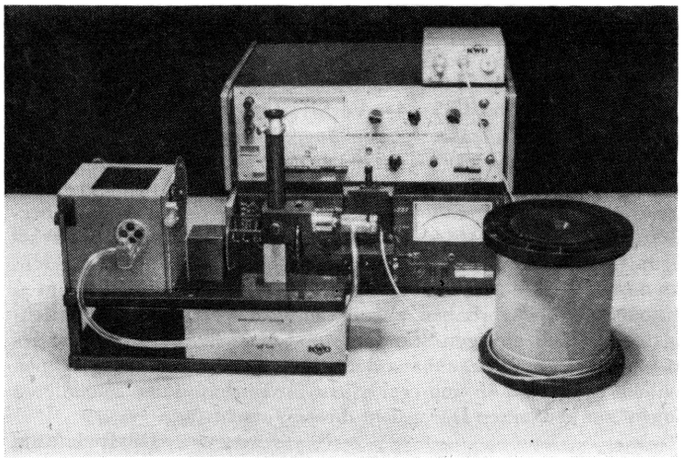
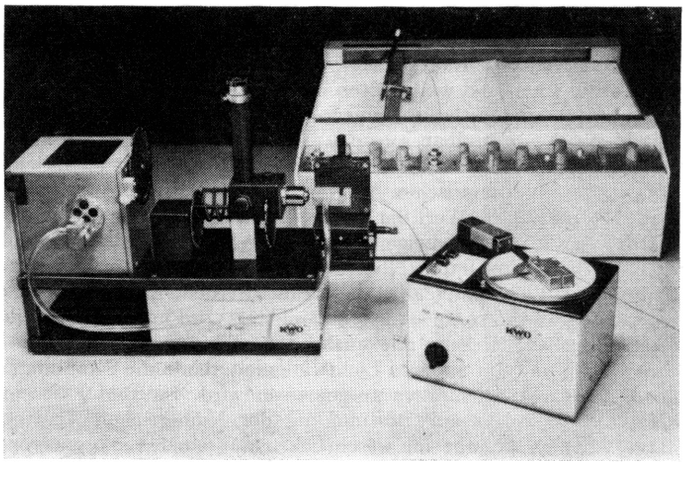


Bild 9. Meßplatz zur Bestimmung der Numerischen Apertur



zurückgeworfenen Impuls gibt ein Maß für die Entfernung der Störstelle. Eine andere Möglichkeit zur Fehlerortung und Dämpfungsbestimmung ist das Rückstreuverfahren, bei dem prinzipiell der gleiche Aufbau erforderlich ist. Dabei wird ein Teil der sogenannten Rayleigh-Streuung gemessen, die durch mikroskopische Inhomogenitäten des Lichtwellenleitermaterials entsteht und die an jeder Stelle des Lichtwellenleiters der dort vorhandenen Lichtleistung proportional ist. Da dieses Signal im Rauschen liegt, also extrem schwach ist, muß der Lawinen-Fotodiode ein Integrator nachgeschaltet werden, der das Signal-Rauschverhältnis verbessert. Die von jedem einzelnen Punkt des Lichtwellenleiters zurückgestreute Energie ist ein genaues Maß der lokalen Dämpfung und gestattet auch die Bestimmung der Dämpfung von Inhomogenitäten und Steckern.

3. Messung der Dispersion

Neben der Dämpfung ist die Übertragungskapazität von entscheidender Bedeutung für den Einsatz der Lichtwellenleiter. Rückschlüsse auf das Übertragungsverhalten werden im allgemeinen aus der Impulsverbreiterung gezogen, d.h. aus der Verbreiterung, die ein schmaler Eingangsimpuls beim Durchlaufen des Lichtwellenleiters erfährt. Im Bild 7 ist das Blockschaltbild eines Dispersionsmeßplatzes dargestellt. Er besteht im wesentlichen aus einem Subnanosekunden-Impulsgenerator für die Laserdiode, deren Licht über ein optisches Abbildungssystem in den Lichtwellenleiter eingekoppelt wird. Als Empfänger werden im allgemeinen schnelle Lawinen-Fotodioden verwandt. Die Signalauswertung erfolgt mit einem Sampling-Oszilloskop. Im Bild 8 sind der Eingangs- und Ausgangsimpuls dargestellt. Aus der Halbwertsbreite kann schnell die Impulsverbreiterung bestimmt werden. Für genauere Untersuchungen des Übertragungsverhaltens muß eine Fourieranalyse von dem Eingangs- und Ausgangsimpuls durchgeführt werden. Daraus kann dann unmittelbar die Bandbreite bestimmt werden.

Ein prinzipielles Problem bei der Bestimmung der Bandbreite basiert auf der Längenabhängigkeit der Dispersion in Vielmodenlichtwellenleitern [7]. Die Dispersion nimmt zunächst linear mit der Lichtwellenleiterlänge zu. Für Lichtwellenleiterlängen, die oberhalb der Kopplungslänge liegen, ist nur eine Abhängigkeit von der Wurzel der Länge festzustellen. Die Verringerung der Dispersion kann durch Modenkopplungseffekte konsistent gedeutet werden. Die Berechnung der Dispersion von Lichtwellenleiterstrecken ist problematisch, da die Spleißstellen die Modenkonversion und damit die Bandbreite beeinflussen. Haben die Teilstrecken verschiedene Brechzahlprofile, so können zusätzlich Kompensationseffekte auftreten.

Störungen im Impulsübertragungsverhalten sowie übermäßige Impulsverbreiterungen resultieren im allgemeinen aus Störungen des Brechzahlprofils. Daher mußten möglichst schnelle Verfahren zur Bestimmung des Brechzahlprofils entwickelt werden, die mit einem geringen präparativen Aufwand verbunden sind. Ein einfaches und schnelles Verfahren ist die Bestimmung des Brechzahlprofils aus der Nah-Feld-Intensitätsverteilung. Unter Nah-Feld-Intensitätsverteilung versteht man dabei die Energieverteilung die unmittelbar auf der Lichtwellenleiterstirnfläche existiert.

4. Bestimmung der Numerischen Apertur

Ein weiterer Parameter ist die Numerische Apertur. Dieser Parameter hat eine große Bedeutung für die Verbindungstechnik, d.h. auf die Dämpfung bei der Verbindung zweier Lichtwellenleiter, und charakterisiert den Raumwinkel, aus dem der Lichtwellenleiter Licht aufnehmen und weiterleiten bzw. am anderen Ende abstrahlen kann. Die theoretische Numerische Apertur eines Lichtwellenleiters kann unmittelbar aus den Brechzahlen des Lichtwellenleiterkerns und Mantels bestimmt werden. Dieser Wert entspricht der maximalen Numerischen Apertur, die der Lichtwellenleiter besitzt. Der praktische Wert der Numerischen Apertur liegt aufgrund der differentiellen Modeneigenschaften der Lichtwellenleiter etwas darunter und kann unmittelbar aus der Fern-Feld-Intensitätsverteilung der Lichtwellenleiter bestimmt werden. Die Fern-Feld-Intensitätsverteilung eines Lichtwellenleiters wird bestimmt, indem im Lichtwellenleiterkern alle ausbreitungsfähigen Strahlen angeregt werden und am anderen Lichtwellenleiterende die Strahlungskeule des Lichtwellenleiters ausgemessen wird. Im Bild 9 ist ein derartiger Meßplatz zur Bestimmung der Numerischen Apertur dargestellt. Er besteht im wesentlichen aus einer Einkoppelvorrichtung zur vollständigen Anregung der Lichtwellenleiter und dem eigentlichen NA-Meßgerät.

Vor dem NA-Meßgerät befindet sich noch ein Modenabstreifer, der die Aufgabe hat, alle Mantelmoden herauszufiltern. Das eigentliche NA-Meßgerät besteht aus einem Drehtisch, in dessen Drehmittelpunkt befindet sich die Lichtwellenleiterendfläche des zu messenden Lichtwellenleiters. Über einen Getriebemotor kann der Mikroskoptisch gedreht werden.

Der *xy*-Schreiber zeichnet das Signal der Fotodiode über dem Drehwinkel auf. Die Breite der Kurve bei 5 % der maximalen Lichtintensität wird zur Berechnung der Numerischen Apertur verwandt.

Literatur

[1] *Day, G. W.; Chamberlain, C. E.:* Results of a recent attenuation measurement comparison among U.S. optical waveguide manufacturers. 5. Tagung ECOS, Amsterdam, 1979

[2] Comparison of attenuation measurements performed by the backscattering technique in various laboratories in Italy. CCITT Study Group 15

[3] *Belov, A. V.; Neustrojev, V. B.:* Meßtechnik für Vielmoden-Lichtleiter und Fragen der Standardisierung (russ.). Radioelektronik 26, (1983) 5, S. 18 – 26

[4] Proposal of the Swiss National Committee for a method of attenuation measurements of optical fibres. IEC, SUB-Committee 46 E Fibre Optics, 1979

[5] Transmission and optical characteristics tests. IEC, SUB-Committee 46 E: Fibre Optics, Juni 1981

[6] A mode exciter for baseband frequency response measurements of graded index fibres. CCITT Study Group XV contribution Nr. 358, Dez. 1979

[7] *Kuka, G.; Brode, F.:* Längenabhängigkeit der Dispersion in Vielmodenlichtleitern. Nachrichtentechnik, Elektronik, Berlin 33 (1983) 11, S. 459 – 461

[8] *Miller, C. H.:* Mode Coupling versus wavelength measurements in graded index multimode fibers. 7th European Conf. on Opt. Commun. ECOC'81, Kopenhagen; Techn. Dig; Paper 5.4.

[9] *Kaiser, P.:* Loss measurements of graded index fibers: Accuracy versus convenience. Symp. on Optical Fiber measurements; Boulder 1980; Techn. Dig.: NBS spec. publication 597, 11 – 14

EA 5557

Demnächst erscheint im VEB Verlag Technik

Automatisierungsanlagen

Standards und Kenngrößen

Reihe Automatisierungstechnik, Band 213

Von *H. Kloust.* Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 1. Auflage. 80 Seiten, 27 Bilder, 31 Tafeln. Broschur. DDR 4,80 Mark. Ausland 8,— DM. Bestell-Nr. 553 475 1

Der von *Heinz Kloust* verfaßte Band 213 der Reihe Automatisierungstechnik kann als zusammenfassendes Nachschlagewerk mit Interpretationen für bestehende wichtige Rechtsvorschriften, Kenngrößen und Festlegungen zu den Bereichen Begriffe, Schaltpläne, Zuverlässigkeit, Versorgungsenergien und Signale, sicherheitstechnische Forderungen, zulässige Umgebungsbedingungen, Grundforderungen an Anlagen, Geräte, Gefäße, Kabel und Leitungen, Kennzeichnungen sowie zu Inbetriebsetzungsprüfungen dienen, die bei der Vorbereitung, Fertigung, Errichtung und Prüfung von Automatisierungsanlagen zu beachten sind.

Dieser Band, der für die an der Vorbereitung und Realisierung von Automatisierungsanlagen tätigen Ingenieure und Techniker vorgesehen ist, ersetzt zwar im speziellen Einzelfall nicht das Studium der Standards, gestattet aber ohne größere Standardrecherchen für konkrete Anwendungsfälle die notwendigen in Tabellen und Übersichten zusammengefaßten zur Zeit gültigen Vorschriften und Festlegungen mit zahlreichen Beispielen und Erläuterungen aufzufinden, um daraus die gesetzlich festgelegten Maßnahmen für die geplanten Automatisierungsvorhaben abzuleiten. Ein Verzeichnis der wichtigsten zur Zeit gültigen Standards und Vorschriften mit Titel des Automatisierungsanlagenbaus der DDR und zu Erzeugnisgruppen schließt den Band ab und ermöglicht im Einzelfall den schnelleren Zugriff zur genaueren Durchsicht dieser Vorschriften.

Die Redaktion

Interferometrische Prüfung von Lichtwellenleiter-Preformen

G. Wurbs; G. Kuka, KDT; Berlin

Eine hochmoderne Technologie, wie sie für die Herstellung von Lichtwellenleiterkabeln erforderlich ist, setzt eine hochentwickelte Meß- und Prüftechnik voraus. Dabei beginnt der Meß- und Prüfprozeß für den Kabelhersteller bei der Preform. Durch die Preformenprüfung ist es möglich, einerseits die Herstellungskosten für die Lichtwellenleiterkabel zu senken und andererseits die Qualität der Kabel zu erhöhen. So lassen sich Herstellungskosten sparen, wenn man defekte Preformen rechtzeitig erkennt. Die Bedeutung der Preformenprüfung zur Kostensenkung wird in dem Maße zunehmen, in dem der derzeitige internationale Trend anhält, längere Preformen mit größerem Durchmesser zu verwenden. Die Qualitätserhöhung ergibt sich daraus, daß eine Reihe von physikalisch-technischen Eigenschaften von der Preform bis zum Endprodukt Lichtwellenleiterkabel erhalten bleiben müssen. Die wichtigsten dieser Eigenschaften sind:

- das normierte Indexprofil, d.h., der normierte radiale Brechzahlverlauf
- das Verhältnis Kern- zu Manteldurchmesser
- geringste Elliptizität
- geringste Exzentrizität des Kerns innerhalb des Mantels.

Abweichungen, z.B. des Indexprofils vom annähernd parabolischem Verlauf, können durch den Ziehprozeß und die nachfolgenden technologischen Schritte nicht mehr korrigiert werden. Diese Abweichungen treten dann in modifizierter Form im Lichtwellenleiterkabel auf und können es für die Signalübertragung unbrauchbar machen. Das gilt nicht zuletzt für lokale Störungen des Indexprofils, d.h. für Abweichungen von annähernd parabolischem Verlauf, die eine relativ kleine räumliche Ausdehnung besitzen, als auch für abrupte Profiländerungen längs der Preform.
Im Mittelpunkt dieses Beitrages stehen die interferometrischen Meß- und Prüfmethoden, die für die Ausmessung und Prüfung der Preformen hinsichtlich des Indexprofils geeignet sind. Gegenstand der Meßmethoden ist die Bestimmung des Indexprofils, Gegenstand der Prüfung ist es, Änderungen des Indexprofils direkt anzuzeigen.

1. Interferometrische Meßverfahren zur Indexprofilbestimmung

1.1. Die Scheibenmethode

Das erste Verfahren, das zur Indexprofilbestimmung eingesetzt wurde, war ein interferometrisches Verfahren, die Scheibenmethode [1]. Die interferometrischen Verfahren sind aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit gegenüber geringsten Brechzahlunterschieden für die Indexprofilbestimmung geradezu prädestiniert. Denn der maximale Brechzahlunterschied, der innerhalb des Kerns der Preform auftritt, liegt im Prozentbereich. Und diese kleinen Brechzahlunterschiede müssen mit einer Genauigkeit von $\pm$ 1 % bestimmt werden. Bei der Scheibenmethode wird an der Stelle der Preform, an der das Indexprofil bestimmt werden soll, ein Scheibchen aus dem Glaszylinder herausgeschnitten. Durch Schleifen und Polieren erhält das Scheibchen zwei optisch ebene und parallele Flächen. Das so vorbereitete Scheibchen wird dann interferometrisch vermessen. Die Bestimmung des Indexprofils aus dem Interferenzbild ist mathematisch sehr einfach. Der Hauptaufwand bei dieser Methode liegt in der mechanischen Herstellung des Scheibchens. Ihr Hauptnachteil ist, daß es sich um ein zerstörendes Verfahren handelt.

1.2. Die transversale Durchleuchtungsmethode

Ein zerstörungsfreies interferometrisches Verfahren ist die transversale interferometrische Durchleuchtungsmethode [1]. Bei dieser Methode wird die Preform quer zur Zylinderachse mit parallelem kohärentem Licht bestrahlt. Um die Zylinderlinsenwirkung der Preform auszuschalten (jeder Glaszylinder stellt an Luft eine Zylinderlinse dar, er erzeugt also aus dem einfallenden parallelen Licht konvergentes Licht), befindet sich diese während der Durchleuchtung in Immersionsflüssigkeit. Gemessen wird auf interferometrischem Wege die Phasenverzögerung $\Delta\Phi$, die die einzelnen Strahlen des Parallellichtbündels beim Durchgang durch die Preform aufgrund des Indexprofils erfahren. Für $\Delta\Phi$ gilt, wenn sich $n(r)$ über die geometrische Weglänge d nicht ändert:

$$\Delta\Phi = (n(r) - n_G)\frac{2\pi}{\lambda} d \qquad (1)$$

$n(r)$ Brechzahl im Abstand r von der Zylinderachse der Preform (Wert des Indexprofils an der Stelle r)
n_G Brechzahl der verwendeten Glassorte (ist identisch mit der Brechzahl des Glasmantels)
λ Wellenlänge des verwendeten Lichtes
d ein Stück der geometrischen Wegstrecke, den der betrachtete Lichtstrahl durchläuft.

Für einen Lichtstrahl, der die Preform quer durchläuft, gilt Gleichung (1) näherungsweise nur für sehr kleine Stückchen des Lichtweges, da sich r und damit $n(r)$ auf dem Weg quer durch die Preform ständig ändert. Man muß in diesem Falle die Phasenverzögerungen stückchenweise aufsummieren, um die Gesamtphasenverzögerung Φ_G des Lichtstrahles zu erhalten, weil man beim Querdurchstrahlen immer nur die Gesamtverzögerung messen kann. Diese ist für den Strahl, der in der Mitte auf die Preform trifft, am größten. Dieser Strahl, der sogenannte Mittelpunktstrahl, „sieht" auf seinem Wege durch die Preform das gesamte Indexprofil. Ein Parallelstrahl, der vom Mittelpunktstrahl den Abstand a hat, erfährt eine geringere Gesamtphasenverzögerung. Um wieviel sich diese von der des Mittelpunktstrahles unterscheidet, hängt eindeutig von s und vom Indexprofil $n(r)$ ab. Exakt gilt zwischen Φ_G, s und $n(r)$ für zylindersymmetrische Preformen folgender Zusammenhang [1]:

$$n(r) - n_G = \frac{\lambda}{\pi_D} \int_r^\infty \frac{\mathrm{d}\Phi_G(a)}{\mathrm{d}a} (a^2 - r^2)^{-\frac{1}{2}} \mathrm{d}a . \qquad (2)$$

Dipl.-Phys. *Guido Wurbs* ist Entwicklungsingenieur, Dr. rer. nat. *Georg Kuka* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck".

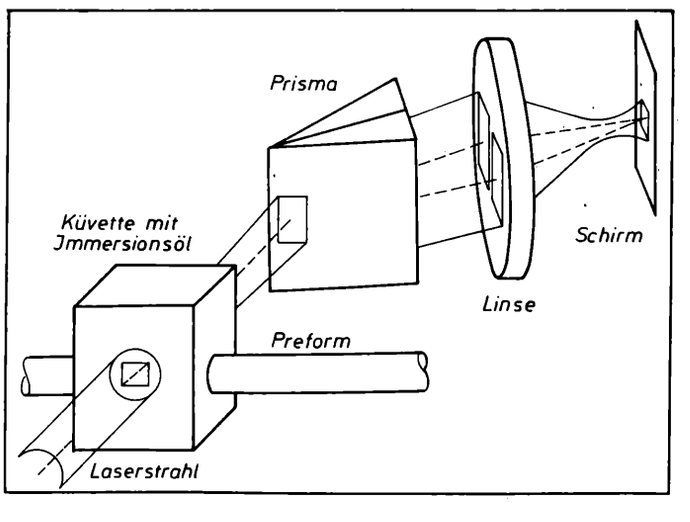


Bild 1
Meßaufbau zur interferometrischen Längshomogenitätsprüfung von Preformen

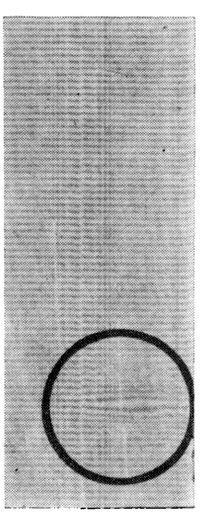


Bild 2
Interferometrische Aufnahme des Kerns einer Preform mit einer lokalen Störung

D ist hierbei der mittlere Interferenzlinienabstand. Wie man Gleichung (2) entnehmen kann, benötigt man für die numerische Berechnung von $n(r)$ nicht $\Phi_G(a)$, sondern den nach a differenzierten Ausdruck $\frac{d\Phi_G(a)}{da}$. Diesen Ausdruck liefert eine spezielle interferometrische Methode, die sogenannte differentielle Shearinginterferometrie [2]. Sehr einfach läßt sich das Shearingverfahren auf holografischem Wege realisieren [2]. Die numerische Berechnung von $n(r)$ nach Formel (2) ist relativ zeitintensiv. Deshalb ist es nicht sinnvoll, das Indexprofil an vielen Stellen der Preform zu bestimmen. Für das Auffinden lokaler Störungen und abrupter Brechzahlprofiländerungen ist dieses Verfahren folglich ungeeignet.

2. Interferometrische Längshomogenitätsprüfung

Das Shearingverfahren selbst ist aber geeignet, um Störungen des Indexprofils direkt sichtbar zu machen. Ein im Kombinat VEB KWO „Wilhelm Pieck" entwickeltes ähnliches Verfahren ist im Bild 1 schematisch dargestellt. Der zu prüfende Teil der Preform befindet sich in einer Küvette mit Immersionsflüssigkeit. Er wird von einem kohärenten Parallellichtbündel beleuchtet. Das nach dem Durchtritt durch die Preform leicht divergente Bündel fällt anschließend auf ein Strahlteilerprisma, wo es in zwei identische Bündel zerlegt wird. Diese beiden Bündel werden dann durch eine Linse auf dem Beobachtungsschirm wieder vereint. Die Objektebene der Abbildung liegt dabei innerhalb des Kerns der Preform. Bei der gewählten Anordnung wird ein Teil der Preform interferometrisch mit einem anderen Teil verglichen. Gibt es längs der Preform keine Änderungen im Indexprofil, dann erscheinen auf dem Beobachtungsschirm äquidistante Geraden. Sind lokale Störungen oder abrupte Änderungen vorhanden, dann erscheinen charakteristische Deformationen im Interferenzbild. Bild 2 zeigt eine photografische Aufnahme des Interferenzbildes mit einer lokalen Störung.
Bei diesem Prüfverfahren handelt es sich um ein Differenzenverfahren. Das hat zur Folge, daß das Indexprofil selbst auf dem Beobachtungsschirm nicht erscheint. Dadurch erleichtert sich die Störungssuche wesentlich. Außerdem läßt sich die Fehlererkennung aufgrund der sehr einfachen Strukturen des ungestörten Interferenzbildes leicht automatisieren. Bewegt man die Preform durch das Parallellichtbündel, dann bewegen sich in gleichem Maße die gestörten Interferenzlinienstrukturen durch das Interferenzbild. In diesem Sinne hat man es mit einem kontinuierlichen Prüfverfahren zu tun. Das Raster, der Interferenzlinienabstand des ungestörten Systems, wird so eingestellt, daß in die Projektion der räumlichen Ausdehnung der Störung auf den Beobachtungsschirm mehrere Interferenzlinien fallen.
Bei diesem interferometrischen Prüfverfahren spielen folgende Vorteile die entscheidende Rolle:

- die zerstörungsfreie Prüfung
- die kontinuierliche Prüfung längs der Preform im Gegensatz zur schrittweisen Abtastung
- die sofortige Signalisierung von Störungen ohne zeitliche Verzögerung.

Zum Schluß soll noch folgendes hervorgehoben werden: Das hier vorgestellte Prüfverfahren zeigt Änderungen des Indexprofils längs der Preform an, darunter fallen die lokalen Störungen. Außerdem ist das Verfahren in der Lage festzustellen, ob sich das an ein oder zwei Stellen längs der Preform bestimmte Indexprofil über die gesamte Länge der Preform ändert oder nicht. Die Kombination aus Messung des Indexprofils an sehr wenigen Stellen plus Anwendung des Prüfverfahrens nach Bild 1 stellt eine Variante zur Charakterisierung der Qualität der Preformen dar.

Literatur

[1] *Marcuse, D.; Presby, H. M.:* Index profile measurements of fibers and their evaluation. Proc. IEEE 68 (1980) 6, S. 666

[2] *Chu, P. L.; Peri, D.:* Holographic measurement of refractive-index profile in the transition region of an optical fiber preform. Appl. Opt. 20 (1981) 8, S. 1418

EA 5558

Ergänzung zur Messevorschau im Heft 2/85

Lichtwellenleiterkabel und Verbindungstechnik aus dem Kombinat KWO Berlin

Die Lichtwellenleiterkabel des Kombinats VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck" sind unter Beachtung der unterschiedlichen Einsatzbedingungen und Anwendungsbereiche konzipiert. Die Typenreihe umfaßt zunächst Kabel mit maximal 16 Lichtwellenleitern mit unterschiedlicher Struktur und unterschiedlichen Eigenschaften (siehe Titelbild), die vorzugsweise für den Einsatz in Innenräumen und für das Einziehen in Röhren vorgesehen sind. An das jeweilige Übertragungssystem angepaßte Lichtwellenleiter-Spezifikationen ermöglichen den wirtschaftlichen Einsatz dieser Kabel in allen Anwendungsbereichen der Telekommunikation. Neben dem Sortiment von Lichtwellenleiterkabeln mit Gradienten-Lichtwellenleitern, vorzugsweise für den Einsatz in postalischen Netzen, wurden vom KWO auch Lichtwellenleiterkabel mit polymerummantelten Stufenlichtwellenleitern für den industriellen Einsatz, speziell im Elektroenergie- und Automatisierungsanlagenbau, entwickelt.
Als Typenvertreter wurden folgende Lichtwellenleiterkabel und Garnituren vorgestellt:

Lichtwellenleiterkabel 8adrig

Aufbau
8 Lichtwellenleiteradern mit Gradientenlichtwellenleiter 50/125 µm, Plastmantel, Zugentlastung, Plastschutzhülle schwarz oder orange

Eigenschaften

Dämpfung bei 850 nm nach CCITT-Empfehlung G 651	3,0 bis 6,0 dB/km
Impulsdispersion bei 850 nm	0,6 bis 2 ns/km
Numerische Apertur	0,2 ± 0,02
Außendurchmesser	8,7 mm
Masse	etwa 70 kg/km
min. Biegedurchmesser	20 d

Dieses Kabel ist vorzugsweise für die Legung in Kabelkanalanlagen vorgesehen.

Lichtwellenleiterkabel 1adrig

Aufbau
Lichtwellenleiterader mit Gradientenlichtwellenleiter 50/125 µm, Zugentlastung, PVC-Außenmantel orange

Eigenschaften
optische Eigenschaften entsprechen der 8adrigen Ausführung

Außendurchmesser	3 mm
Masse	< 10 kg/km
min. Biegedurchmesser	20 d

Dieses Kabel ist für den Einsatz in Innenräumen geeignet (Bild 1).

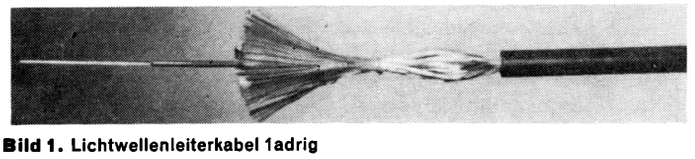


Bild 1. Lichtwellenleiterkabel 1adrig

Verbindungsmuffe für 1adrige Lichtwellenleiterkabel

Die Muffe ist sowohl für die Aufnahme lösbarer Verbindungen (Steckverbinder) als auch zur Unterbringung nichtlösbarer Verbindungen (Klebe- oder Schweißverbindungen) geeignet (Bild 2 auf der 2. US). Der konstruktive Aufbau ermöglicht auch den Einsatz als Reparaturmuffe.

Verbindungsmuffe für 8- und 16adrige Lichtwellenleiterkabel

Zur Verbindung von Lichtwellenleiterkabeln mit 4 bis 16 Lichtwellenleitern steht eine längsgeteilte Muffe zur Verfügung. Die Lichtwellenleiterverbindungen werden einschließlich einer gewissen Reservelänge in Kassetten abgelegt. Diese Kassetten werden geordnet im Muffenspleißraum befestigt (Bilder 1 bis 3 auf der 3. US).

(Fortsetzung auf S. 153)

Simulation von Schaltungen der Leistungselektronik mit Hilfe programmierbarer Kleinstrechner, Teil 4 und Schluß

Programmierbare Tisch- und Taschenrechner sowie Heim- und Personalcomputer eröffnen auch für die digitale Simulation von Schaltungen der Leistungselektronik neue Möglichkeiten.
Im vierten und letzten Teil[1]) der Artikelserie wird das BASIC-Programm eines Gleichrichter-Modells vorgestellt und in Verbindung mit typischen Lastschaltungen angewendet.
Ein abschließender Ausblick geht auf Entwicklungstendenzen bei Kleinstrechnern ein und nennt mögliche Richtungen weiterführender Arbeiten.

F. Fischer, KDT, Dresden; W. Retzlaff, KDT, Berlin

6. Gleichrichter-Modellierung

In den vorangegangenen Beispielen der Schaltungssimulation wurde von einer idealen Gleichspannungsquelle ausgegangen. In der Mehrzahl praktischer Fälle jedoch ist Gleichspannung aus dem Wechselstromnetz zu gewinnen. Häufig wird es dann erforderlich, den Gleichrichter in die Simulation einzubeziehen. Die Ergebnisse gestatten eine genauere Auslegung der Elemente des Gleichrichters wie auch nachgeschalteter Siebmittel. Außerdem sind realitätsnahe Untersuchungen des Zusammenspieles Gleichrichter-Lastschaltung durchführbar.
Das vorliegende Gleichrichtermodell ist als Unterprogramm QUELLE Bestandteil des Simulationsprogramms. Die Art der Gleichrichterschaltung, die Netzdaten und der Zündwinkel sind vorzugeben.
Als Ausgangsinformation werden in Abhängigkeit vom Verhalten des Lastkreises für diskrete Zeitpunkte der gültige Betriebszustand sowie der Wert der Ausgangsspannung u_d bereitgestellt.
Die folgenden Simulationsbeispiele verwenden die bereits vorgestellten BASIC-Texte Hauptprogramm (Tafel 3), „Oszilloskop" (Tafel 5) sowie die Modelle von Diode und Thyristor aus Tafel 9. Das Gleichrichtermodell selbst ist in Tafel 12 enthalten. Hier sind außerdem jene Ergänzungen und Veränderungen der erwähnten Grundprogramme angegeben, die für das erste Beispiel die Schaltung des Lastkreises und die gewünschte Form der Ausgabe festlegen.

6.1. Unterprogramm QUELLE

Das Unterprogramm QUELLE belegt die Zeilen 5000 bis 5999, die zugehörigen Anfangszuweisungen werden in den Zeilen 1500 bis 1599 vorgenommen.

Anfangszuweisungen

NP gibt die **Zahl der Gleichrichterzweige** (Strangzahl) an. Die **Zahl der Kommutierungsgruppen** (Brückenhälften) wird durch BH festgelegt. Für Mittelpunktschaltungen gilt demnach BH = 1, für Brückenschaltungen BH = 2. Im Falle des Vorliegens einer Brücke steht VG = 1 für **Vollsteuerung** und VG = 0 für **Halbsteuerung.** Über die Beschaltung des Gleichrichterausganges mit einer **Freilaufdiode** kann mit der Zuweisung FD = 1 informiert werden (Zeilen 1500 bis 1503). In Bild 8 sind einige diesbezügliche Beispiele gebräuchlicher Schaltungen, hin bis zum Sechspulsgleichrichter, zusammengestellt. Die Systematik ist auch auf höhere Pulszahlen anwendbar.
Die im folgenden vereinbarten Felder U und Vb estehen bei Mittelpunktschaltungen aus einem einzigen Element, bei Brückenschaltungen aus zwei Elementen (Zeilen 1510 und 1511). Feld U enthält die Teilspannungen, Feld V die Nummer des momentan leitenden Ventiles der Brückenhälften.
Als Netzspannung benötigt das Gleichrichtermodell den Amplitudenwert der Spannung zwischen Stranganschluß und einem gedachten Bezugspunkt der Teil-Ausgangsspannungen der Brückenhälften. Die hier vorgestellten Beispiele verwenden keinen Transformator, und als Netzspannung tritt die Spannung zwischen Leiter und *Mp* des Drehstromsystems (220 V) auf. In den meisten Fällen ist der Bezugspunkt der Teil-Ausgangsspannungen identisch mit *Mp*, so daß der vorgegebene und auf Amplitude umgerechnete Spannungswert (Zeile 1520) unverändert übernommen werden kann.
Eine Ausnahme stellt die Zweipuls-Brückenschaltung dar, die hier eingangsseitig an einen Leiter und *Mp* des Drehstromnetzes angeschlossen wird (Bilder 8c und 8d). In diesem Fall liegt der Bezugspunkt der Teilspannungen in der Mitte zwischen Leiterspannung und *Mp*. Die in das Gleichrichtermodell eingehende Netzspannung beträgt dann die Hälfte der angelegten (Zeile 1521). Die **Netzfrequenz** sei FN = 50 Hz (Zeile 1522).

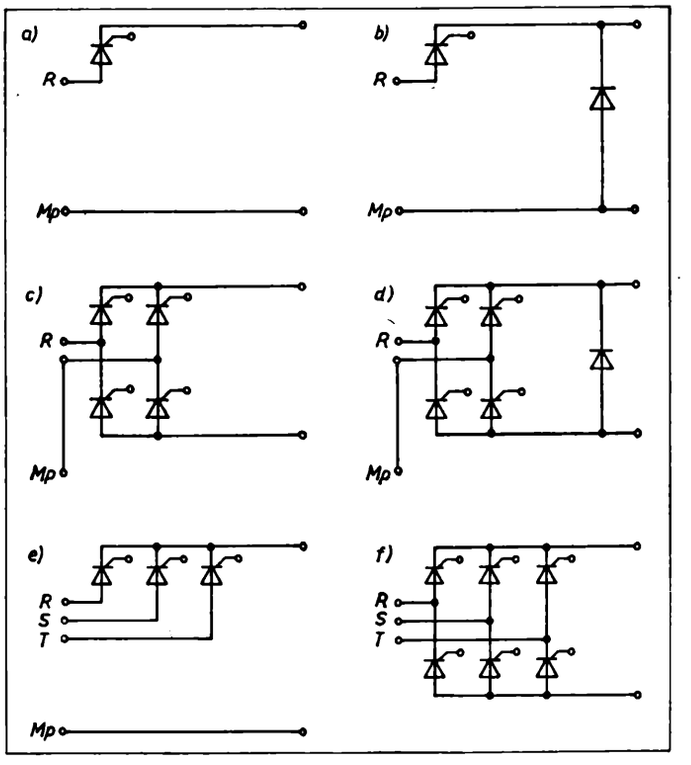


Bild 8. Beispiele modellierter Gleichrichterschaltungen
a) Einpulsschaltung (NP=1, BH=1, FD=0)
b) Einpulsschaltung mit Freilaufdiode (NP=1, BH=1, FD=1)
c) Zweipuls-Brückenschaltung, vollgesteuert (NP=2, BH=2, VG=1, FD=0)
d) Zweipuls-Brückenschaltung, vollgesteuert, mit Freilaufdiode (NP=2, BH=2, VG=1, FD=1)
e) Dreipuls-Mittelpunktschaltung (NP=3, BH=1, FD=0)
f) Sechspuls-Brückenschaltung
halbgesteuert (NP=3, BH=2, VG=0, FD=0)
vollgesteuert (NP=3, BH=2, VG=1, FD=0)

Dr.-Ing. *Friedrich Fischer* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstofforschung der AdW, Dresden. Dipl.-Ing. *Werner Retzlaff* ist Entwicklungsingenieur im VEB Steremat „Hermann Schlimme" Berlin.

Teil 1 dieser Artikelserie ist in ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 1, S. 14–16, **Teil 2** in Heft 2, S. 64–67, **Teil 3** in Heft 3, S. 107–110 erschienen.

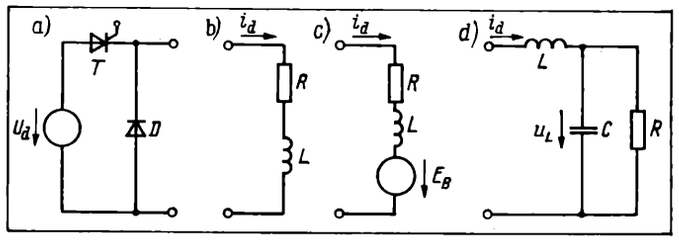


Bild 9. Ersatzschaltung des Gleichrichtermodells a) mit ohmsch-induktiver Last b), ohmsch-induktiver Last und Gegenspannung E_B c) sowie RLC-Last d)

Der Gleichrichter wird als Reihenschaltung einer Spannungsquelle u_d mit einem Summenthyristor T aufgefaßt, der die Steuereigenschaften aller Gleichrichterventile in sich vereinigt. Hierzu kommt in bestimmten Fällen eine Freilaufdiode D, so daß sich insgesamt die in Bild 9a gezeigte Ersatzschaltung ergibt. Die Modellierung des Thyristors T und der Diode D folgt der in Abschn. 5. vorgestellten Methode. Zu Beginn der Simulation seien beide Bauelemente gesperrt und somit die entsprechenden logischen Variablen VT und VD Null (Zeilen 1530 und 1531).

Die zum Unterprogramm Steuergerät gehörenden Werte des **Zündwinkels** WZ und der **Zündpulsdauer** WD sind ab Zeile 1400 eingetragen. Die Zuweisung erfolgt in grd, wobei der Zündwinkel hier stets vom Nulldurchgang der betrachteten Strangspannung an gerechnet wird. In Dreipuls- und Sechspulsschaltungen entspricht Zündwinkel Null demnach einem WZ = 30 grd.

Programmausführung

Der Programmtext des Gleichrichtermodells läßt drei Funktionsblöcke erkennen. Im ersten Teil wird die Gleichrichter-Ausgangsspannung u_d berechnet (Zeilen 5000 bis 5170). Der zweite Teil dient einer Bestimmung der Ventilzustände von Thyristor T und Diode D (Zeilen 5190 bis 5330). Im dritten Teil werden, entsprechend dieser neuen Ventilzustände, Zuweisungen für das folgende Rechenintervall vorgenommen (Zeilen 5340 bis 5380).

Zur **Berechnung der Ausgangsspannung** u_d ist die äußere G-Schleife (Zeilen 5030 bis 5170), je nach Zahl der Brückenhälften BH, einmal oder zweimal zu durchlaufen. Die innere P-Schleife (Zeilen 5050 bis 5140) wird für jedes der NP Ventile einer Brückenhälfte wirksam. Zunächst ist aus der aktuellen Zeit T ein Winkel W zu bilden (Zeile 5010). Nach Abspaltung des periodischen Teiles (Zeile 5080) liegt W als Bruchteil einer Periode ($0 \leqq W < 1$) vor. Ein Zündpuls entsteht, wenn W in dem durch WZ und WD bestimmten Zeitfenster liegt (Zeile 5090). Bei Halbsteuerung (VG = 0) enthält die untere Brückenhälfte Dauerpuls (Zeile 5070).

Falls Zündung vorliegt oder das betreffende Ventil bereits leitend ist (Zeile 5100), wird die entsprechende Strangspannung US errechnet (Zeile 5110). Im Falle einer Kommutierung werden in einer Brückenhälfte beide Bedingungen erfüllt, so daß der größere der Spannungswerte zu ermitteln ist. Dieser Wert wird zur Gleichrichter-Teilspannung U(G). Die Nummer des nunmehr leitenden Ventiles wird in VP zwischengespeichert und am Ende der P-Schleife in V(G) übertragen.

Jeweils nach Durchlaufen einer P-Schleife wird das Bezugssystem und damit der Winkel W um 1/NP weitergerückt (Zeile 5130). Für den Durchlauf der unteren Brückenhälfte (G=2) kommt eine Verschiebung um 1/2 (180 grd) hinzu (Zeile 5160). Die Teilspannungen der Brückenhälften werden, ausgehend von UD=0 (Zeile 5020), nacheinander aufsummiert (Zeile 5150).

Zur **Bestimmung der neuen Zustände der Ventile des Ersatzschaltbildes** Thyristor T und Diode D werden zunächst die Strom- und Spannungswerte dieser beiden Elemente benötigt. Hierfür sind alle möglichen Kombinationen der bisherigen Ventilzustände zu berücksichtigen (Zeilen 5190 bis 5210). Die Spannung an den Klemmen der Lastschaltung bei gesperrten Ventilen, UL, wird in Zeile 5180 übergeben. Im Falle des ersten Beispieles, der Anordnung nach Bild 9b, ist UL=0. Der Ausgangsstrom des Gleichrichters sei in allen hier betrachteten Fällen i_d=F(1), so daß eine gesonderte Übergabe entfallen kann.

Vor dem Aufruf des Thyristormodells (Zeile 5280) erfolgt die Übergabe der speziellen Ventilgrößen. Ein Summenzündpuls ZP wird gebildet, wenn in jeder der beteiligten Brückenhälften des Gleichrichters mindestens ein Ventil leitend ist (Zeilen 5240 bis 5270). Nach der Rückübergabe des neuen Ventilzustandes (Zeile 5290) wird bei Verwendung einer Freilaufdiode das Diodenmodell aufgerufen (Zeilen 5300 bis 5330).

Zum **Setzen der Zuweisungen für das folgende Rechenintervall** sind vier mögliche Kombinationen der neuen Ventilzustände VT und VD zu unterscheiden. Befindet sich der Gleichrichter in Betrieb (VT=1), so bleibt die errechnete Ausgangsspannung u_d gültig (Zeile 5340). Leitet hingegen die Freilaufdiode, so wird $u_d = 0$ und die Brückenhälften verlöschen (Zeile 5350).

Falls Gleichrichter und Freilaufdiode gesperrt sind (VT=0, VD=0), ist außerdem der Ausgangsstrom F(1) Null zu setzen (Zeile

Tafel 12. Programmergänzung zur Gleichrichter-Modellierung

```
1220  LET ND=1
1270  LET DT=40E-6

1300  LET N$="GLEICHRICHTER"
1311  LET Y$(1,6)="UD"
1312  LET Y$(2,6)="ID"
1313  LET Y$(3,6)=""
1314  LET Y$(4,6)=""
1331  LET M(1)=100: LET N(1)=4
1332  LET M(2)=200: LET N(2)=4
1333  LET M(3)=   0: LET N(3)=0
1334  LET M(4)=   0: LET N(4)=0

1350  LET MT=3.333E-3

1400  LET WZ=30: LET WZ=WZ/360
1410  LET WD=70: LET WD=WD/360
1499  REM ----------------

1500  LET NP=1
1501  LET BH=1
1502  LET VG=1
1503  LET FD=0
1504  REM
1510  DIM U(BH)
1511  DIM V(BH)
1512  REM
1520  LET UN=220*SQR(2)
1521  IF NP=2 AND BH=2 THEN
      LET UN=UN/2
1522  LET F=50
1523  REM
1530  LET VT=0
1531  LET VD=0
1599  REM ----------------

1700  LET F(1)=0
1730  LET L=3E-3
1740  LET R=0.5
1799  REM ----------------

3000  REM UP AUSGABE
3010  LET A(1)=10000
3020  IF VT=1 OR VD=1 THEN
      LET A(1)=UD
3040  LET A(2)=F(1)
3070  GOSUB 3700: REM UP OSZI
3098  RETURN
3099  REM ----------------

4000  REM UP STG
4998  RETURN
4999  REM ----------------

5000  REM UP QUELLE
5010  LET W=1+F*T
5020  LET UD=0
5021  REM
5030  FOR G=1 TO BH
5040  LET VP=0
5041  REM
5050  FOR P=1 TO NP
5060  LET Z=0
5070  IF G=2 AND VG=0 THEN LET Z=1
5080  LET W=W-INT(W)
5090  IF W>=WZ AND W<WZ+WD THEN
      LET Z=1
5100  IF P<>V(G) AND Z=0 THEN
      GOTO 5130
5110  LET US=UN*SIN (2*PI*W)
5120  IF  VP=0 OR US>U(G) THEN
      LET U(G)=US: LET VP=P
5130  LET W=W-1/NP
5140  NEXT P
5141  REM
5150  LET UD=UD+U(G): LET V(G)=VP
5160  LET W=W+1/2
5170  NEXT G
5171  REM
5180  LET UL=0
5181  REM
5190  IF VT=1 THEN
      LET I1=F(1): LET U1=0:
      LET I2=0: LET U2=-UD
5200  IF VD=1 THEN
      LET I1=0: LET U1=UD:
      LET I2=F(1): LET U2=0
5210  IF VT=0 AND VD=0 THEN
      LET I1=0: LET U1=UD-UL:
      LET I2=0: LET U2=-UL
5211  REM
5220  LET IV=I1: LET UV=U1
5230  LET V=VT
5240  LET ZP=1
5250  FOR G=1 TO BH
5260  IF V(G)=0 THEN LET ZP=0
5270  NEXT G
5280  GOSUB 6910: REM THYRISTOR
5290  LET VT=V
5291  REM
5300  LET IV=I2: LET UV=U2
5310  LET V=VD
5320  IF FD=1 THEN GOSUB 6900:
      REM DIODE
5330  LET VD=V
5331  REM
5340  IF VT=1 AND VD=0 THEN
      RETURN
5350  IF VT=0 AND VD=1 THEN
      LET UD=0: FOR G=1 TO BH:
      LET V(G)=0: NEXT G:
      RETURN
5360  IF VT=0 AND VD=0 THEN
      LET F(1)=0: FOR G=1 TO BH:
      LET V(G)=0: NEXT G:
      RETURN
5370  IF UD<0 THEN LET UD=0:
      LET VT=0: RETURN
5380  LET VD=0
5998  RETURN
5999  REM ----------------

6000  REM UP VENTILE
6098  RETURN
6999  REM ----------------

7000  REM UP DGL
7010  IF VT=0 AND VD=0 THEN
      LET K(1)=0: RETURN
7020  LET K(1)=(UD-Y(1)*R)*DT/L
7998  RETURN
7999  REM ----------------
```

5360). In diesem Zustand tritt u_d nach außen weder in der DGL noch in der Ausgabe in Erscheinung, sondern wird lediglich intern zur Berechnung und Überwachung der Thyristorspannung (Zeile 5210) herangezogen.
Der letzte der vier betrachteten Fälle (VT=1, VD=1) wird ausgeschlossen, indem bei positivem u_d die Diode, bei negativem u_d der Thyristor gesperrt wird (Zeilen 5370 und 5380). Aus diesem Grunde ist es berechtigt, bei der beschriebenen Bestimmung der Ventilgrößen (Zeilen 5190 und 5210) nur von drei Zustandsmöglichkeiten auszugehen.
Der zweite und dritte Teil des UP QUELLE lehnt sich in der hier dargestellten Form eng an das in Abschn. 5.2. gegebene Schema an. Bei weniger ausführlicher Niederschrift ist eine Verkürzung und Beschleunigung des Programms erreichbar.

6.2. Beispiele

Im folgenden wird das Modell auf einige typische Gleichrichterschaltungen (Bild 8) in Verbindung mit den Lastanordnungen Bild 9b bis 9d angewendet.

Beispiel 1

Neben dem bisher vorgestellten Programmtext und einigen allgemeinen Anweisungen enthält Tafel 12 auch die Angaben zum ersten Beispiel, einem Einpulsgleichrichter mit ohmsch-induktiver Last (Bild 8b). Für den geschlossenen Kreis gilt

$$L\,(\mathrm{d}i_d/\mathrm{d}t) = u_d - i_d\,R, \tag{20}$$

wobei u_d bei gesperrtem Gleichrichter und leitender Freilaufdiode (VT=0, VD=1) mit Null eingeht (Zeile 5350 sowie Zeile 7020). Sind beide Ventile gesperrt, entfällt Gl. (20) und der Zuwachs K(1) ist Null (Zeile 7010). Die Zahl der DGL, hier ND=1, ist in Zeile 1220 einzutragen. Der Anfangswert der Zustandsvariablen i_d = F(1) wird Null gesetzt (Zeile 1700). Es seien die Induktivität $L = 3$ mH, der Widerstand $R = 0{,}5\ \Omega$ (Zeilen 1730 und 1740). Der Zündwinkel sei WZ = 30 grd, die Zündpulsdauer WD = 70 grd, d.h. etwa 3,9 ms (Zeilen 1400 und 1410).
Alle Beispiele arbeiten mit gleichem Zeitmaßstab, MT = 3,333 ms/RE, und gleicher Integrationsschrittweite, deren Wert DT = 40 µs (Zeile 1270) sich hier vorrangig aus der gewünschten Punktdichte der Oszillogramme ergibt. Wie bereits verdeutlicht (Abschn. 4.1.), können in einem solchen Fall auch Integrationsverfahren niedrigerer Ordnung zu ausreichender Genauigkeit führen. Hier wurde wiederum das modifizierte Euler-Verfahren 2. Ordnung, wie in Tafel 3 enthalten, verwendet.
In den Zeilen 1300 bis 1334 werden die Beschriftungen der Oszillogramme, die Maßstäbe und die Nullinien festgelegt (s. Abschn. 3.1.). Die Werte der folgenden Beispiele sind Tafel 13 oder direkt dem jeweiligen Bild zu entnehmen.
Gemäß Tafel 12 werden im ersten Beispiel die Gleichrichter-Ausgangsspannung u_d und der Strom i_d oszillografiert. Die noch freien Eingänge des „Oszilloskops" stehen für weitere überprüfende Messungen zur Verfügung, wie in der Praxis z.B. im Falle einer Fehlersuche erforderlich. Die an den interessierenden Schaltungspunkt angeklemmte Tastspitze entspricht hier der Zuweisung einer Y-Kanal-Variablen A(I), vorgenommen im interessierenden Programmabschnitt. Um z.B. zusätzlich die Zündpulse des Thyristors zu oszillografieren, genügt die Einfügung

```
5095 LET A(4)=Z*0.5
```

in Verbindung mit der Wahl von Bezeichnung, Maßstab und Nullinie der neuen Meßgröße:

```
1314 LET Y$(4,6)="Z1"
1334 LET M(4)=1: LET N(4)=0.
```

Der Faktor 0,5 übernimmt die Funktion eines Tastteilers 1:2.

Die entsprechenden Verläufe zeigt Bild 10, Test 1. Erkennbar ist die durch den induktiven Lastanteil hervorgerufene Verlängerung der Stromführungsdauer, begleitet von einer ins Negative reichenden Gleichrichter-Ausgangsspannung.

Beispiel 2

Mit der Anweisung

```
1503 LET FD=1
```

wird die Freilaufdiode aktiviert, worauf der negative Spannungsanteil verschwindet und ein nichtlückender Stromfluß erreicht wird (Bild 10, Test 2).

Beispiel 3

Der Betrieb des Gleichrichters an einer Last mit Gegenspannung (Bild 8c) ist typisch für Batterieladegeräte und Antriebe. Mit den folgenden Programmzeilen wird diese Spannung vorgegeben (E_B = 220 V), als Kontrollgröße an Kanal 3 des „Oszilloskops" geführt und in der DGL berücksichtigt. Die Freilaufdiode wird nicht benötigt.

```
1503 LET FD=0
1750 LET EB=220
3050 LET A(3)=EB
5180 LET UL=EB
7020 LET K(1)=(UD-Y(1)*R-EB)*DT/L
```

Beispiele 4 bis 6

Im folgenden werden die vorangegangenen drei Tests mit einer Zweipuls-Brückenschaltung wiederholt. Nunmehr gilt

```
1500 LET NP=2
1501 LET BH=2.
```

Zeile 7020 kann bestehenbleiben, wenn zunächst EB = 0 gesetzt wird (Zeile 1750). Um nun in analoger Weise z.B. die beiden Zündpulse der oberen Brückenhälfte abzugreifen, lautet der in der P-Schleife befindliche Befehl

```
5095 IF G=1 THEN LET A(2+P)=Z*0.5
```

mit

```
1313 LET Y$(3,6)="Z1"
1314 LET Y$(4,6)="Z2"
1333 LET M(3)=1: LET N(3)=1
1334 LET M(4)=1: LET N(4)=0.
```

Zeile 3050 ist zu löschen. Die weitere Programmbearbeitung folgt den Beispielen 1 bis 3, die entsprechenden Oszillogramme zeigen die Tests 4 bis 6 des Bildes 10.

Beispiel 7

Eine Dreipuls-Mittelpunktschaltung ergibt sich über die Zuweisungen

```
1500 LET NP=3
1501 LET BH=1.
```

Der gewählte Zündwinkel von 15 grd erfordert ein WZ=15+30=45. Wegen der höheren Pulsationsfrequenz wird die Zeitkonstante L/R der Last etwas verkleinert (siehe Tafel 13). EB ist Null zu setzen, Zeile 3050 zu löschen. Bild 10, Test 7, zeigt die Verläufe.

Beispiele 8 und 9

Für den Übergang zu einer halbgesteuerten Sechspuls-Brückenschaltung sind

```
1501 LET BH=2
1502 LET VG=0
```

zu setzen.
Bei kleinem Zündwinkel ergibt sich erwartungsgemäß eine geringe Pulsation der Gleichspannung und ein stark geglätteter Verlauf des Stromes (Bild 10, Test 8). Den Umschlag in Dreipulsverhalten bei Überschreiten eines Zündwinkels von 60 grd zeigt Bild 10, Test 9.

Beispiele 10 und 11

Ein vollgesteuerter Sechspuls-Brückengleichrichter werde an eine R-Last mit LC-Glättung nach Bild 9d angeschlossen. Es gilt

$$L\,(\mathrm{d}i_d/\mathrm{d}t) = u_d - u_L \tag{21}$$

$$C\,(\mathrm{d}u_L/\mathrm{d}t) = i_d - u_L/R. \tag{22}$$

Während Gl. (21) nur während der Betriebsphase des Gleichrichters oder der Freilaufdiode wirksam wird, gilt Gl. (22) auch bei gesperrten Ventilen. Die Spannung an der Last u_L = F(2) wird Kanal 3 des „Oszilloskops" zugeführt und dem zweiten Block des Gleichrichtermodells übergeben. Die Zeitkonstante L/R wird weiter verkleinert. Neben der Eingabe von Schaltungsdaten, Zündwinkel und Oszillogrammparametern (Tafel 13) sind demnach folgende Programmänderungen zu berücksichtigen:

```
1220 LET ND=2
1502 LET VG=1
1710 LET F(2)=0
3050 LET A(3)=F(2)
5180 LET UL=F(2)
7010 IF VT=0 AND VD=0 THEN
     LET K(1)=0: GOTO 7030
7020 LET K(1)=(UD-Y(2))*DT/L
7030 LET K(2)=(Y(1)-Y(2)/R)*DT/C.
```

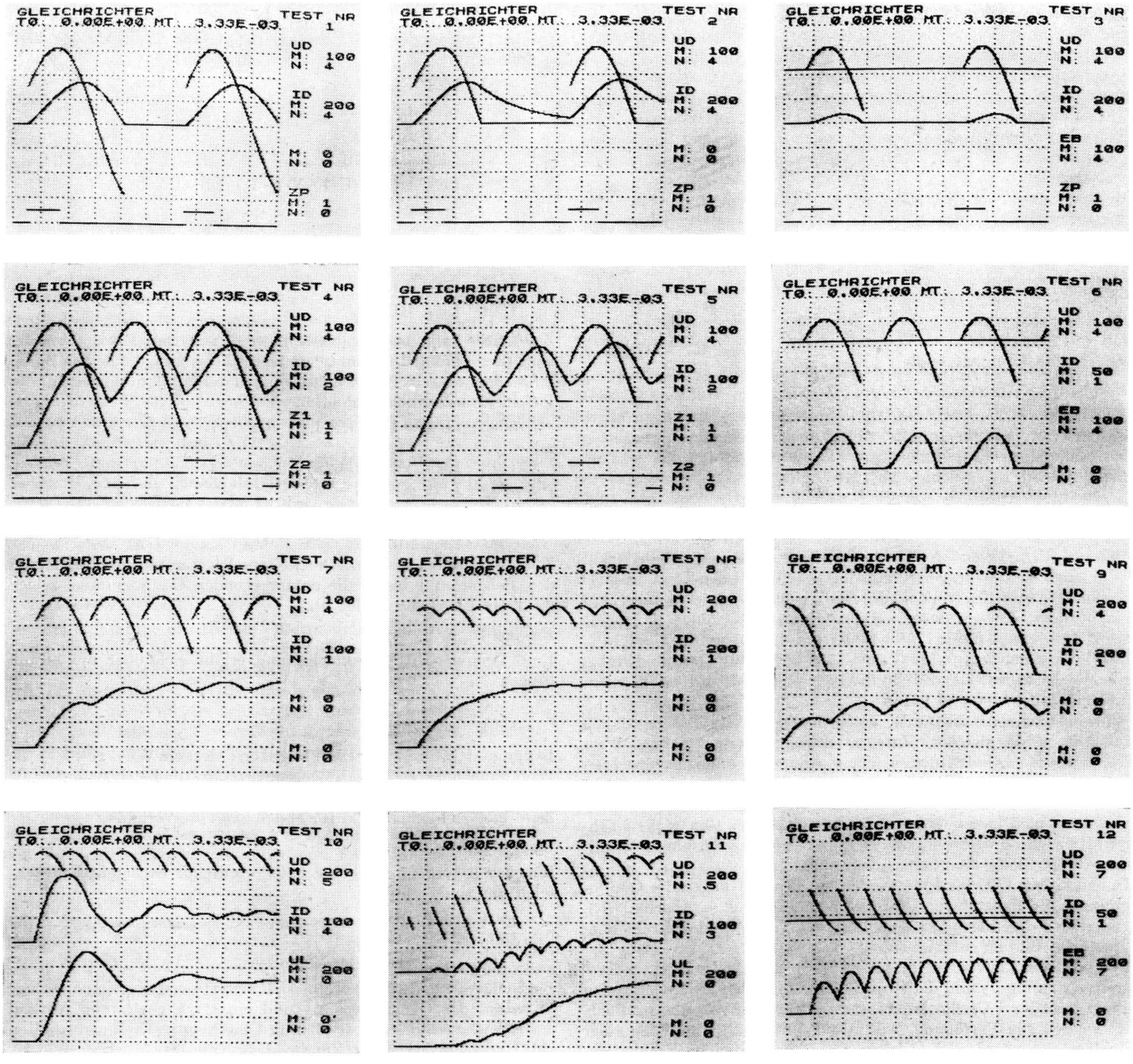


Bild 10. Oszillogramme der Gleichrichtersimulation mit einer Lastschaltung nach
- Bild 9b (Test Nr. 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9)
- Bild 9c (Test Nr. 3, 6, 12)
- Bild 9d (Test Nr. 10, 11)

Schrittweite DT = 40 μs
Zeitmaßstab MT = 3,333 ms/RE
(Weitere Parameter gemäß Tafel 13)

Tafel 13. Parameter der Simulationsbeispiele 1 bis 12 (Bild 10)

Test Nr.	Gleichrichter NP	BH	VG	FD	WZ (grd)	Last L (mH)	R (Ω)	EB (V)	C (mF)	Oszilloskop Kanal 1 Y	M	N	Kanal 2 Y	M	N	Kanal 3 Y	M	N	Kanal 4 Y	M	N	Rechenzeit HC – 000 (min)
1	1	1	1	0	30	3	0,5			UD	100	4	ID	200	4		0	0	ZP	1	0	15
2	1	1	1	1	30	3	0,5			UD	100	4	ID	200	4		0	0	ZP	1	0	15
3	1	1	1	0	30	3	0,5	220		UD	100	4	ID	200	4	EB	100	4	ZP	1	0	16
4	2	2	1	0	30	3	0,5			UD	100	4	ID	100	2	Z1	1	1	Z2	1	0	24
5	2	2	1	1	30	3	0,5			UD	100	4	ID	100	2	Z1	1	1	Z2	1	0	24
6	2	2	1	0	30	3	0,5	220		UD	100	4	ID	50	1	EB	100	4		0	0	26
7	3	1	1	0	45	5	1			UD	100	4	ID	100	1		0	0		0	0	19
8	3	2	0	0	45	5	1			UD	200	4	ID	200	1		0	0		0	0	25
9	3	2	0	0	100	5	1			UD	200	4	ID	200	1		0	0		0	0	25
10	3	2	1	0	45	4	4		1	UD	200	5	ID	100	4	UL	200	0		0	0	26
11	3	2	1	0	150→30	4	4		1	UD	200	5	ID	100	3	UL	200	0		0	0	27
12	3	2	1	0	170	3	0,5	– 440		UD	200	7	ID	50	1	EB	200	7		0	0	26

Bild 10, Test 10, läßt ein beträchtliches Überschwingen nach dem Einschalten des Gleichrichters erkennen.
Einen Sanftanlauf zur Vermeidung dieser Erscheinung zeigt Bild 10, Test 11. Der Anfangszündwinkel von 120 grd (WZ=150) wird über die betrachtete Zeit von 33,3 ms stetig bis auf Null (WZ=30, als Periodenbruchteil geschrieben: WZ=1/12) verringert. Die Vorgabe dieses Zündwinkel-Sollwertes erfolgt im Unterprogramm Steuergerät, dessen Programmtext lautet:

```
1400 LET WZ=150: LET WZ=WZ/360
4000 REM UP STG
4010 LET WZ=WZ-1/3*DT/10/MT
4020 IF WZ<1/12 THEN LET WZ=1/12
4998 RETURN
4999 REM.
```

Beispiel 12

Wie in den Beispielen 3 und 6 arbeitet der Gleichrichter auf eine Spannung gemäß Bild 9c, deren Wert hier jedoch EB=−440 V beträgt und somit in Richtung des Stromflusses wirkt. Mit dem gewählten großen Zündwinkel von 140 grd (WZ=170, Zeilen 4010 und 4020 löschen) befindet sich die Schaltung im Wechselrichterbetrieb (Bild 10, Test 12).

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit sollte in einige Möglichkeiten der Schaltungssimulation auf Kleinstrechnern einführen. Allgemeine, aus *R*, *L* und *C* bestehende Netzwerke wurden um Bauelemente der Leistungselektronik ergänzt, die wegen ihres nichtlinearen Charakters spezielle Methoden erfordern. Nach der Veranschaulichung einiger Verfahren zur numerischen Integration von Differentialgleichungen wurde ein BASIC-Simulationsprogramm vorgestellt. Für die Wahl dieser Sprache waren die gegenwärtige Verfügbarkeit und Verbreitung maßgebend. Obwohl BASIC für eine strukturierte Programmierung kaum prädestiniert ist, wurde modularer Programmaufbau angestrebt. Die Aufteilung der Unterprogramme orientiert sich an gerätetechnischen Funktionsgruppen, wie Speisequelle, Steuergerät, Leistungskreis, Meßtechnik.
Analogien zu experimentellen Arbeitstechniken werden erkennbar. Auch Möglichkeiten der Ausbildung in Form eines „Rechnerpraktikums" mit doppeltem Lehrziel sind auf diese Weise denkbar.
Eine Vielzahl von Aufgaben der Programmentwicklung für die Schaltungssimulation auf Kleinstrechnern bleibt weiterführenden Arbeiten vorbehalten. So sind **weitere Bauteile und Baugruppen** in die Simulation einzubeziehen, wie z.B. sättigbare Drosseln und Transformatoren, Regler, elektrische Antriebe und mechanische Systeme. Auch eine Erweiterung der Ersatzschaltbilder von Halbleiter-Leistungsbauelementen wird für bestimmte Aufgaben erforderlich werden. **Weitere Grundschaltungen** dürften als Modelle von allgemeinem Interesse sein, wie z.B. Wechselspannungssteller, Gleichspannungssteller und Schaltnetzteile. Der Vorteil, neben der Schaltung auch Meßmöglichkeiten nachbilden zu können, läßt sich noch umfassender nutzen. So sind in „Fächer" des Unterprogramms AUSGABE neben dem Oszilloskop **weitere „Meßgeräte"** aufnehmbar, so z.B. Transientenrecorder, Leistungsmesser, Effektivwertmesser, Spektralanalysator.
Mit zunehmendem Programmumfang werden Unzulänglichkeiten der Sprache BASIC immer deutlicher. Durch den Übergang auf eine Programmiersprache wie PASCAL sind klare Programmstrukturen realisierbar, die einer Denkweise in Funktionsgruppen besser entsprechen. Hinzu kommt der mögliche Gewinn an Rechenzeit um mindestens eine Größenordnung.
Die rasche Weiterentwicklung bei Kleinstrechnern, namentlich bei Heim- und Personalcomputern, wird in den kommenden Jahren zu Geräten führen, die

- mit einem wesentlich größeren Speicherraum ausgestattet sind
- eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit besitzen und
- verbesserte Kommunikationsmöglichkeiten mit dem Nutzer und mit peripheren Geräten aufweisen.

Auf dieser Grundlage werden komfortable Softwarepakete einsetzbar.
Die Entwicklung der Hardware wird besonders bei Kleinstrechnern der Bereitstellung entsprechender Software vorauseilen. Deshalb erscheint die Erarbeitung und Publikation allgemein nutzbarer Rechenverfahren und Programme für Kleinstrechner seitens der Anwender selbst von besonderer Bedeutung. Mit der vorliegenden Arbeit sollte hierzu eine Anregung gegeben werden. EA 5559

Fortsetzung von S. 148

Diese Muffe kann auch als Abzweig- und Aufteilungsmuffe verwendet werden.

Trenn-Endverschluß

Zur Aufnahme von max. 8 lösbaren Lichtwellenleiter-Verbindungen (Steckverbinder) und 2 Anschlüssen für metallische Leiter steht ein Endverschluß zur Verfügung.

Gerätesatz Lichtwellenleiter-Verbindungstechnik

Der Gerätesatz besteht aus dem Schweißgerät LSG 4 und dem Schweißkoffer mit der Trennvorrichtung LT 4. Dieser Gerätesatz ist zur Herstellung unlösbarer Lichtwellenleiter-Verbindungen geeignet.
Beim Lichtwellenleiter-Schweißgerät LSG 4 (Bild 3 auf der 2. US sowie Bild 3 auf S. 141) befinden sich der Netzteileinschub und im Transportzustand die mechanische Baugruppe — der Schweißplatz, in einem gemeinsamen Gehäuse. Im Arbeitszustand können Netzteil und Schweißplatz getrennt aufgestellt werden, so daß auch unter beengten Platzverhältnissen gearbeitet werden kann. Das Netzteil des LSG 4 stellt die Lichtbogenenergie zum Verschmelzen der Quarzlichtleiter zur Verfügung. Die 2 Stufen des Schweißprozesses, das Vorschmelzen und das eigentliche Schweißen, sind getrennt vorwählbar und können einzeln oder automatisch abgerufen werden. Die mechanische Baugruppe des Schweißgerätes zeichnet sich durch geringe Masse und geringes Volumen aus. Die Justierung der beiden Lichtwellenleiterenden erfolgt durch eine prismatische Führungsnut.
Die Endflächen der Lichtwellenleiter und der Schweißprozeß können mit einem Mikroskop mit 58facher Vergrößerung kontrolliert werden. Der Schutz der Schweißstelle erfolgt im Gerät durch Anbringen einer längsgeteilten Schutzhülse ohne mechanische Beanspruchung der Lichtwellenleiter. Die erreichbaren Spleißdämpfungen liegen unter Modengleichgewichtsbedingungen, ohne Berücksichtigung von Toleranzen der Lichtwellenleiter, bei 0,2 dB.
Das Zubehör umfaßt den Schweißkoffer und die Trennvorrichtung LT 4. Der Schweißkoffer (Bild 2) enthält alle Werkzeuge, die notwendig sind, um den Lichtwellenleiter von allen Umhüllungen zu befreien, sowie die Werkzeuge und Materialien für den Schutz der Schweißstellen. Die Trennvorrichtung LT4 (siehe Bild 2 auf S. 141) beruht auf dem sog. Kerb-Zieh-Verfahren und erzeugt die zum Schweißen erforderlichen planen Endflächen der Lichtwellenleiter. Es wurde eine praxiserprobte Montagetechnologie erarbeitet, die alle Schritte vom Entfernen der Umhüllungen des Kabels über die Herstellung der Lichtwellenleiter-Schweißstellen bis zur Muffenmontage enthält.

Technische Daten

Lichtwellenleiter-Schweißgerät LSG 4	
Durchmesser der Lichtwellenleiter	125 bis 200 µm
Schweißzeit	0,1 bis 9,9 s in Stufen von 0,1 mA einstellbar
Netzspannung	220 V $\binom{-40\ V}{+30\ V}$ 50 Hz
Einsatztemperatur	−10 °C bis + 40 °C
Temperatur für Transport und Lagerung	−40 °C bis +70 °C
Lichtwellenleiter-Trennvorrichtung	LT 4
Durchmesser der Lichtwellenleiter	125 bis 200 µm
Aderdurchmesser der Lichtwellenleiter	0,8 bis 1,2 µm

C. Henke, Berlin

EA 1907

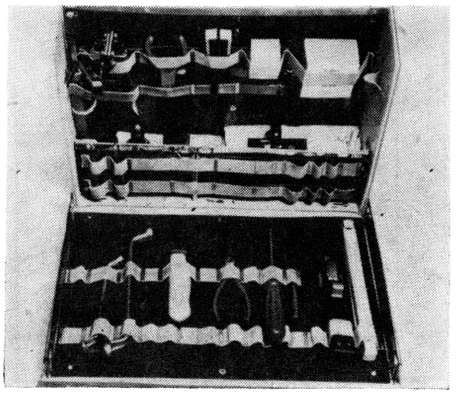


Bild 2
Lichtwellenleiter-Schweißkoffer mit allem erforderlichen Zubehör zum Abisolieren und zum Schutz der Schweißstellen

In ELEKTRIE Heft 1/85 wurden umfassende Berichte von der 30. Session der CIGRE — Paris 1984 — veröffentlicht. Mit den nachstehend abgedruckten Beiträgen (2. Teil[1])) haben sich die Teilnehmer aus der DDR an den Fachdiskussionen beteiligt. Näheres über die Aufgaben, Ziele und die Struktur der CIGRE konnten Sie im einleitenden Beitrag des Heftes 3/85 auf S. 83 von Prof. Dr.-Ing. Müller, Präsident des Nationalkomitees CIGRE der DDR, erfahren.

Die Redaktion

Diskussionsbeiträge der DDR-Teilnehmer während der 30. Session in Paris 1984 (Fortsetzung)

[1]) Ein erster Teil ist in ELEKTRIE 39 (1985) 3, S. 115—117 erschienen, ein abschließender Teil folgt im nächsten Heft.

Einfluß der Feuchtigkeit auf die dielektrischen Eigenschaften von hochpolymeren Isolierungen

M. Kahle, KDT, Ilmenau

Diskussionsbeitrag im SC 15

Im Beitrag von *Kärner* u.a. „Bestimmung geringer Wassergehalte in festen organischen Isoliermaterialien und Einfluß der Feuchtigkeit auf die dielektrischen Eigenschaften" wird ein Zusammenhang zwischen der Durchschlagfestigkeit im Spannungssteigerungsversuch mit 1 kV/min und der Wasserlagerungszeit angegeben (Bild 1). Diese funktionelle Abhängigkeit wird mit einer speziellen Probenanordnung gewonnen, die eine kegelförmige Wasserelektrode mit kleinflächiger elektrischer Belastung bei einer Probendicke von 1 mm vorsieht. Aus den gewonnenen Meßwerten wird abgeleitet, daß die nach Langzeitlagerung im Wasser reduzierte elektrische Durchschlagfestigkeit noch eine Größenordnung über der Belastungsfeldstärke für Kunststofflangstabisolatoren mit Silikongummiisolierung liegt und damit keine Gefährdung der Isolatoren selbst unter extremen Feuchtigkeitsbedingungen erkennbar ist.

Demgegenüber muß jedoch die Frage nach dem belasteten Volumen gestellt werden. Bei trockenen Isolierungen muß die kleinvolumig bestimmte Durchschlagfestigkeit wegen der Fehlstellenabhängigkeit über das Vergrößerungsgesetz statistisch extrapoliert werden. Dabei dürfte wegen des wesentlich größeren belasteten Volumens in der Praxis die genannte Sicherheitsgrößenordnung unterschritten werden. Hinzu kommt die Notwendigkeit der Berücksichtigung der Alterungseffekte bei der Umrechnung Durchschlagfeldstärke — Lebensdauer bei entsprechender Belastungsfeldstärke.

Im vorliegenden Fall der durch Wasserlagerung herabgesetzten Durchschlagfeldstärke erhebt sich die Frage nach dem Volumeneffekt. Zur Untermauerung der Sicherheitsaussage erscheint die Untersuchung des Durchschlagmechanismus, des Einflusses von Belastungsvolumen und Belastungszeit erforderlich. Insbesondere müßte geklärt werden, ob im Zusammenhang mit der Abbildung 10 des diskutierten Beitrages ein Schnittpunkt der Festigkeitskurven für trockenes und wassergesättigtes Material bei wesentlich kleineren Spannungssteigerungsgeschwindigkeiten eintritt.

Um die Kompliziertheit der Diffusionsvorgänge, speziell der Feuchtigkeitsdiffusion, mit Berücksichtigung der Umweltbelastungsfaktoren zu demonstrieren, seien folgende eigene Untersuchungsergebnisse genannt:

— Epoxidharzschichten von maximal 100 µm Dicke wurden in eine HCl-H_2O-Luft-Atmosphäre gebracht und die Wirkung der Molekül- und Ionendiffusion mit angelegtem elektrischem Feld in der Größenordnung von 10 kV/cm und ohne dieses untersucht [1].

Prof. Dr.-Ing. *Manfred Kahle* ist Wissenschaftsbereichsleiter an der Sektion Elektrotechnik der TH Ilmenau.

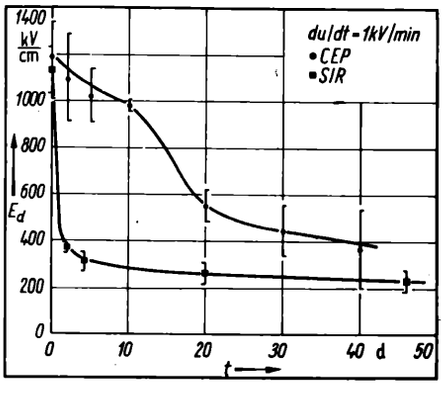


Bild 1 ◀
Durchschlagfestigkeit von cykloaliphatischem Epoxidharz (CEP) und Silikonkautschuk (SIR) im Spannungssteigerungsversuch nach Lagerung in destilliertem Wasser bei 50°C (Entnommen aus Beitrag 15-02/SC 15/1984)

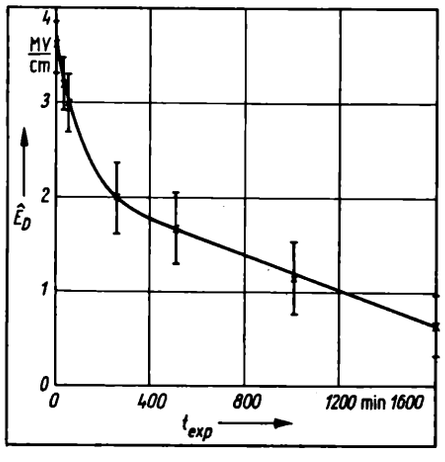


Bild 2 ◀
Durchschlagfestigkeit von EP-Schichten im SSV in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer in H_2O-HCl-Luft-Atmosphäre · Diffusion ohne elektrisches Feld

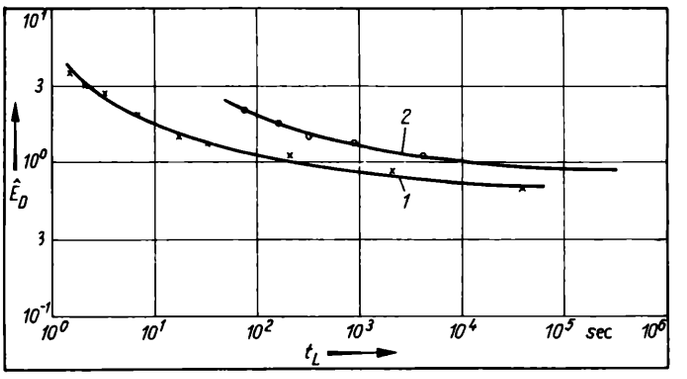


Bild 3 ▶
Gegenüberstellung der Lebensdauer von EP-Harzschichten im elektrischen Feld mit H_2O-HCl-Luft-Atmosphäre (2) und unter Luft (1)

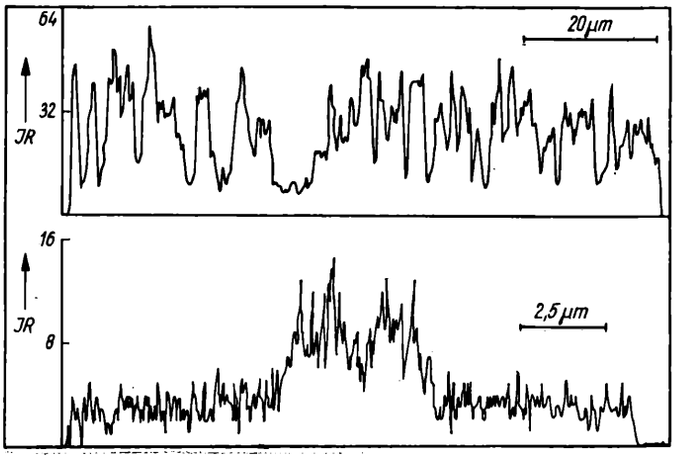


Bild 4 ▶
Nachweis der Konzentration von Cl-Atomen in der Umgebung eines Festkörpereinschlusses einer feldbelasteten EP-Probe in H_2O-HCl-Luft-Atmosphäre (unten) im Vergleich zu einer Probe ohne Feldbelastung (oben)
IR Impulsrate (Intensität)

— Bild 2 zeigt eine durchaus dem Bild 1 (Abbildung aus dem diskutierten Beitrag) ähnliche Reduzierung der Durchschlagfeldstärke mit der Lagerungszeit, wenn kein elektrisches Feld während der Diffusion anliegt und die Festigkeit mit einem Spannungssteigerungsversuch von 1 kV/s bestimmt wird.

— Wenn die Diffusion unter Wirkung eines elektrischen Feldes stattfindet, wird keine Reduzierung der Durchschlagfeldstärke im Spannungssteigerungsversuch beobachtet. Die Wirkung ist geringer im Fall von PET und PE-Folien, offensichtlich infolge der anderen Fehlstellenstruktur.

— Im Konstantspannungsversuch wurde unter gleichen Bedingungen eine Erhöhung der Lebensdauer gegenüber den trockenen EP-Schichten gemessen (Bild 3). Eine Reduzierung der lokalen Feldstärke an den Fehlstellen im Isolierstoff durch Konzentration von leitfähigkeits- und dielektrisch verändernden Molekülen sollte als Ursache angenommen werden.

— Die Annahme von der auf Fehlstellen konzentrierten Diffusion wurde durch eine energiedispersive Elektronenstrahlmikroanalyse bestätigt. An einem Beispiel wird im Bild 4 die Konzentration von Cl-Atomen in der Umgebung eines Festkörper-Fremdeinschlusses in der EP-Schicht nach Diffusion bei angelegtem elektrischem Feldge zeigt. Eine Diffusion ohne Feld bewirkt keine lokale erhöhte Cl-Ansammlung.

Schlußfolgernd sei auf die Notwendigkeit einer exakten Analyse der Diffusionsmechanismen im Hinblick auf die Übertragung von Versuchsergebnissen zur elektrischen Festigkeit, der Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Isolierungen auf praktische Fälle verwiesen. Umweltfaktoren, insbesondere chemische Verunreinigungen, sollten neben der Feuchtigkeit stärker Beachtung finden.

Literatur

[1] *Kahle, M.; Schwesinger, N.:* Einfluß von Diffusanden auf dielektrische und Durchschlageigenschaften. 28. IWK, TH Ilmenau, Vortragsreihe „Elektrische Isoliertechnik"; 1983

EA 1894

Probleme der Kriechstromfestigkeit von polymeren Isoliermaterialien nach thermischer Alterung

M. Kahle, KDT; *V. Steinbach*,; Ilmenau

Diskussionsbeitrag im SC 15

Zur Selektierung von Isoliermaterial für bestimmte Anwendungen in elektrischen Geräten von Anlagen ist es üblich, auch die Kriechstromfestigkeit zu bestimmen. Es liegen IEC-Empfehlungen und nationale Normen für entsprechende Verfahren vor. Besonderheiten müssen bei den Materialien berücksichtigt werden, die nur zur Erosionszerstörung führen.

Gegenwärtig wird mit der jeweiligen Methode der Kriechspurindex oder der Erosionsindex bestimmt. Benutzt werden unvorbelastete Proben. Keine Rolle spielt dabei bisher die Veränderung der Kriechstromfestigkeit im Prozeß der Alterung, insbesondere der thermischen Alterung.

Es ist jedoch von Bedeutung, die alterungsbedingten Veränderungen festzustellen. Das gilt besonders für den Fall, daß die für die Einstufung des Temperaturindex oder der Wärmebeständigkeitsklasse gewählten Eigenschaften oberhalb der kritischen Werte für die betreffende Alterungstemperatur bleiben, der Kriechspurindex aber absinkt. Um einen Überblick zu erlangen, wurden dreidimensional vernetzte Harze untersucht.

Bild 1 zeigt, daß ein Bisphenolepoxidharz, gehärtet mit THPSA/PSA, den Tropftest nach IEC 112 mit 600 V/50 Tropfen im Neuzustand besteht. Wenn jedoch eine beschleunigte thermische Alterung angewendet wird, sinkt der Kriechspurindex in Abhängigkeit von der Temperatur schnell ab.

Es kann angenommen werden, daß innerhalb eines Zeitraumes, in dem die mechanischen und elektrischen Eigenschaften keine kritischen Werte erreichen, d.h. also während der Betriebszeit der Isolierung, der Kriechspurindex bereits markant gegenüber den Forderungen bestimmter Vorschriften absinkt.

Um den Einfluß der chemischen und physikalischen Struktur des Isolierstoffes deutlich zu machen, wurde neben dem EP-Harz ein thermostabiles System vom Polyisocyanuratoxazolidon-Typ (PIO 10) untersucht. Es handelt sich dabei um einen Isolierstoff der WBK H.

Der Kriechspurindex nach IEC 112 ist relativ niedrig, jedoch ändert er sich im Laufe der thermischen Alterung kaum. Das trifft gemäß Bild 2 auch bis zu Temperaturen von 220 °C zu.

Werden aktive Füllstoffe, wie Aluminiumoxyhydrat in die Harzmatrix eingeführt (PIO 70), so wird der Kriechspurindex auf > 600 V/50 Tropfen erhöht, jedoch sinkt der Kriechspurindex selbst bei 180 °C relativ schnell. Während dieser Zeit bleiben andere Eigenschaften nahezu unverändert. Obgleich theoretisch bei 180 °C Al_2O_3 das Wasser nicht abgibt, sinkt die Wirkung des Füllstoffes offensichtlich erheblich (Bild 3).

Wird ein passiver Füllstoff, wie Quarzsand, angewendet (PIO 90), so erhöht sich die Kriechstromfestigkeit vergleichsweise geringfügig, bleibt aber während der thermischen Alterung nahezu konstant. Die Verbesserung des Kriechspurindex ist auf die Wärmeleitfähigkeitserhöhung zurückzuführen.

Eine andere Möglichkeit der Erhöhung der Kriechspurfestigkeit ist der Einbau von linearen Molekülketten in die PIO-Matrix. Damit wird der Kriechspurindex auf > 600 V/50 Tropfen erhöht. Im Laufe der thermischen Alterung sinkt jedoch der Index auf 200 bis 250/50 ab. Das ist der Wert von PIO 90. Die Linearmoleküle verlieren ihre Wirksamkeit bei Kriechstrombeanspruchung durch die vorangegangene thermische Alterung beachtlich schnell (Bild 4).

Die aufgeführten Ergebnisse lassen die Frage entstehen, ob es gerechtfertigt ist, die Forderung nach einem hohen Kriechstromindex zu stellen, wenn bei thermisch

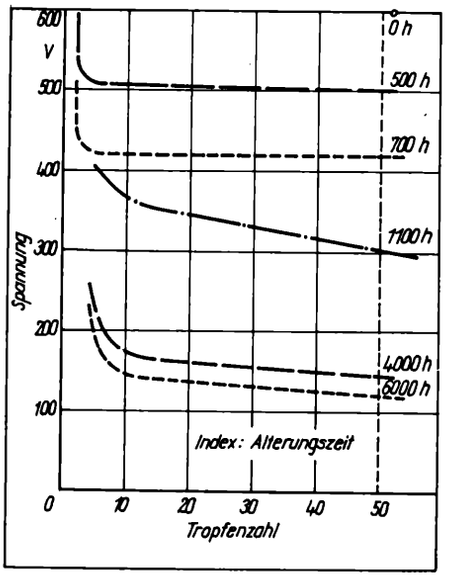
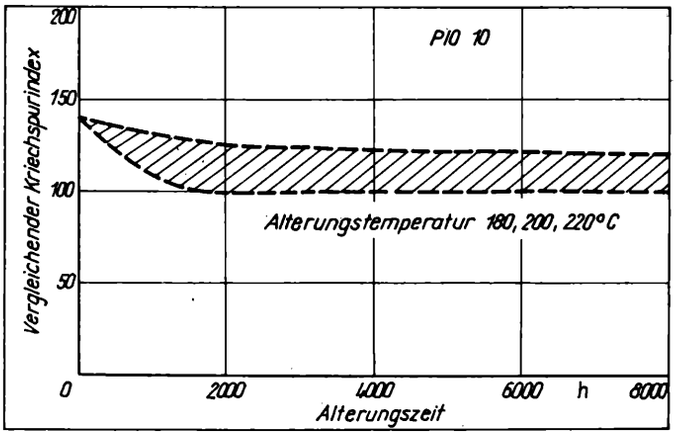


Bild 1. Vergleichender Kriechspurindex nach IEC 112 mit der thermischen Alterungszeit als Parameter für einen EP/THPSA/PSA – Formstoff

Bild 2. Vergleichender Kriechspurindex nach IEC 112 als Funktion der Alterungszeit für PIO 10



Prof. Dr.-Ing. *Manfred Kahle* ist Wissenschaftsbereichsleiter; Dr.-Ing. *Volker Steinbach* ist wissenschaftlicher Assistent an der Sektion Elektrotechnik der TH Ilmenau.

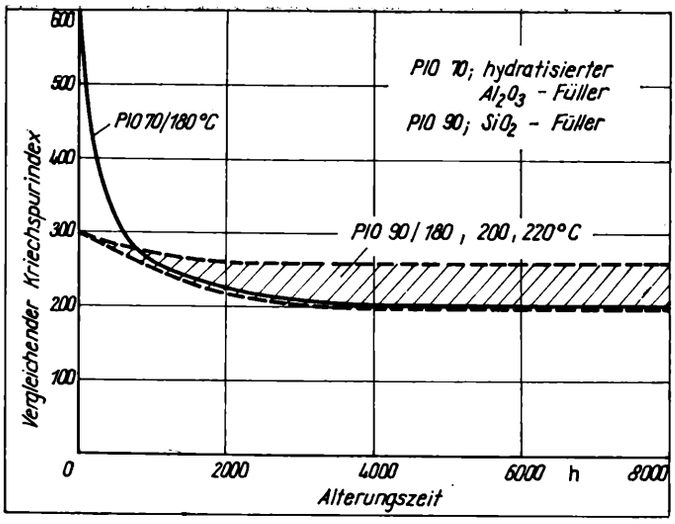


Bild 3. Vergleichender Kriechspurindex nach IEC 112 als Funktion der Alterungszeit für PIO 70 und PIO 90

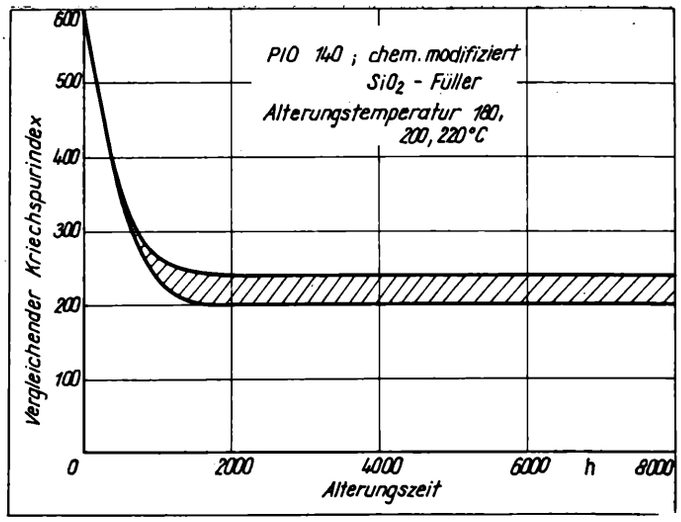


Bild 4. Kriechspurindex als Funktion der thermischen Alterungszeit für ein chemisch modifiziertes PIO 140-System

hochbelasteten Isolierstoffen und solchen mit anwendungsbedingt hoher WBK im Laufe der Alterung dieser drastisch absinkt und während eines sehr langen Zeitraumes im Rahmen der Lebensdauer der Kriechspurindex weit unter dem geforderten Wert liegt, der im Neuzustand erreicht wird.

Eine andere Betrachtungsweise ist die, in den genannten Fällen den Kriechspurindex als ein obligatorisches Kriterium für die Bestimmung des Temperaturindex bzw. der Wärmebeständigkeitsklasse einzuführen.
Die Diskussion zu dieser Problematik sollte auf der Basis weiterer Untersuchungen mit anderen Isolierstoffen im Rahmen der WG 15-06 fortgesetzt werden. Schlußfolgerungen für Ergänzungen oder Korrekturen sollten für die gegenwärtigen IEC-Empfehlungen, speziell für die IEC 216 gezogen werden.

EA 1895

Über den elektrischen Nachweis der Wirkung von Spannungsstabilisatoren und water trees in Polyethylen-Isolierungen

M. Eberhardt, KDT; *W. Mosch*, KDT Dresden; *F. Petzold*, KDT Schwerin; *C. Scharff*, KDT Großenhain; *D. Flügge*, KDT; *L. Röhr* KDT Berlin

Diskussionsbeitrag im SC 15

Der elektrische Durchschlag von Polyethylen (PE)-Isolierungen wird durch Teilentladungskanäle (electrical trees) eingeleitet. Sie beginnen im PE an Orten hoher Feldstärke oder Stellen geringer elektrischer Festigkeit. Bei PE-Kabeln wird die elektrische Lebensdauer hauptsächlich durch die Zeit bis zum erstmaligen Auftreten von electrical trees (Kanaleinsatzzeit t_{ke}) bestimmt. Auch durch das Eindringen von Wasser und die Bildung von water trees können sich electrical trees ausbilden. Zur Verlängerung der Kanaleinsatzzeit werden dem PE Spannungsstabilisatoren beigemengt.
Um Anhaltspunkte für die Bedingungen zur Ausbildung von electrical trees und für den Einfluß von Spannungsstabilisatoren und water trees zu erhalten, war es das Ziel des CIGRE-DDR-Beitrages 15-01, eine Meßmethode vorzustellen, mit der die Vorgänge im PE vor dem Auftreten von electrical trees erkannt und nachgewiesen werden können.
Das erstmalige Auftreten von electrical trees ist mit Stromimpulsen verbunden und kann mit herkömmlichen Teilentladungsmeßgeräten (z.B. dem MTE 3 des VEB TuR) ermittelt werden. Für die Erforschung der Vorprozesse ist es aber notwendig, die elektrischen Vorgänge auch vor dem Einsatz impulsförmiger Entladungen zu messen. Dafür wurde eine modifizierte Brückenschaltung und ein Spezialeinschub zum MTE 3 (H 232 A) entwickelt (Beitrag 15-01).
Vor dem Auftreten von Stromimpulsen wurde an PE-Prüfkörpern bereits ein niederfrequenter Strom („impulsloser" Strom, repräsentiert durch die Gesamtladung Q_G) registriert (Bild 1). In PE-Prüfkörpern *mit Spannungsstabilisator* konnten erste Stromimpulse (und damit das erstmalige Auftreten von electrical trees) erst nach 2,7 h gemessen werden. Bis zu dieser Zeit floß ein impulsloser Strom, der unmittelbar vor dem Kanaleinsatz 45 nA erreichte. Die Gesamtladung betrug dabei 450 pC. In PE-Prüfkörpern *ohne Spannungsstabilisator* erfolgte der Kanaleinsatz bereits nach einigen Minuten (0,22 h). Die Gesamtladung unmittelbar vor dem Kanaleinsatz war kleiner als 50 pC.

Dozent Dr. sc. techn. *Martin Eberhardt* ist Forschungsgruppenleiter, Prof. Dr.-Ing. habil. *Wolfgang Mosch* ist Dekan an der TU Dresden. Dr.-Ing. *Frank Petzold* ist Gruppenleiter im VEB Kabelwerke Nord Schwerin. Dipl.-Ing. *Christian Scharff* ist wissenschaftlicher Assistent an der TU Dresden. Dr.-Ing. *Dietrich Flügge* ist stellv. Direktor für Forschung und Entwicklung im KWO Berlin, Dr.-Ing. *Lutz Röhr* ist Gruppenleiter im Starkstromkabellabor im KWO Berlin.

Bild 1. Gesamtladung Q_G während der Beanspruchungszeit bis zum Kanaleinsatz bei Polyethylen mit und ohne Spannungsstabilisator

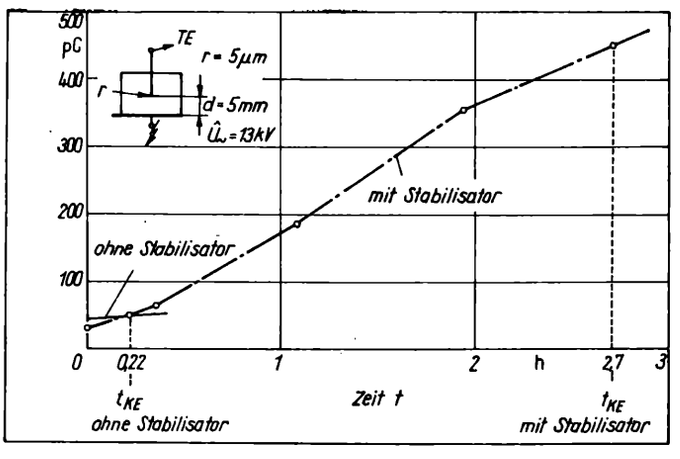
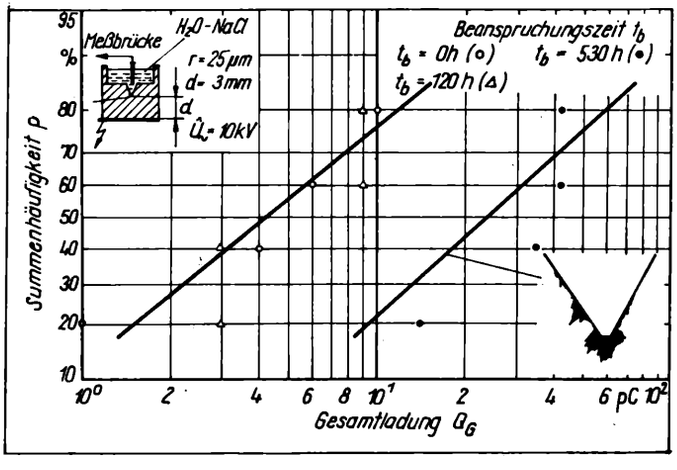


Bild 2. Einfluß von Wasser auf die Gesamtladung Q_G von PE-Prüfkörpern



Wir sehen die Ursache für die große Gesamtladung vor dem Einsetzen von electrical trees bei stabilisiertem PE in der Wanderung der Stabilisatormoleküle (Migration) zu den Stellen hoher Feldstärke (Nadelspitze). Die damit verbundenen Transportprozesse im Isolierstoff bewertet das Meßsystem als Ladung.

Mit der gleichen Meßmethode ist es auch möglich, die Existenz von water trees im Isolierstoff festzustellen (Bild 2). Dazu wurde die Gesamtladung in PE-Prüfkörpern bei Wassereinwirkung gemessen. Bis zu Beanspruchungszeiten von 120 h lag die gemessene Gesamtladung nur bei 1 bis 10 pC. Nach 530 h wurden Gesamtladungen von 10 bis 100 pC registriert. Es war nachweisbar, daß die Prüflinge bis zu Beanspruchungszeiten von 120 h keine water trees aufwiesen, während sich nach 530 h vor der Nadelspitze water trees von 100 bis 200 µm Länge gebildet hatten. Hohe Gesamtladungen vor dem Kanaleinsatz weisen also auf die Existenz von water trees hin.

Es muß beachtet werden, daß eine empfindliche Messung von impulslosen Strömen nur bei relativ geringen Spannungen und nicht zu großen Prüflingskapazitäten möglich ist; z. B. beträgt die kleinste meßbare impulslose Gesamtladung etwa 5 pC, wenn die Spannung 10 kV und die Prüflingskapazität 0,5 pF beträgt. Dagegen liegt bei einer Spannung von 30 kV und einer Prüflingskapazität von 500 pF die minimal nachweisbare Gesamtladung bei etwa 10000 pC. Die vorgeschlagene Meßmethode zur Erfassung impulsloser Vorgänge in Isolierstoffen ist also in der Grundlagenforschung sehr nützlich, kann jedoch z. Z. noch nicht für technische Isolierungen angewendet werden.

EA 1896

Verhinderung von Störungen durch Seiltanzen auf Hochspannungs-Freileitungen der DDR

D. Langmacker, KDT, Berlin

Diskussionsbeitrag im SC 22

Die meteorologischen Voraussetzungen für das Seiltanzen waren in der DDR bisher für kurze Zeitabschnitte bis zu 6 Stunden auf den betroffenen Freileitungen vorhanden. Dabei kam es zu Auslösungen der Leitungen und zu Seilschäden im Spannfeld durch Lichtbogenüberschläge.

Um derartige Störungen zu vermeiden, hat die Bekämpfung des Seiltanzens in der DDR in den letzten Jahren breiten Raum eingenommen. Die Seiltanzfälle und -orte werden systematisch erfaßt und deren Auswirkungen analysiert.

In einer Freileitungsversuchsanlage und auf einer 380-kV-Hochspannungsfreileitung wurden die Seile durch mechanische Bewegungen der Tragketten-Fußpunkte zu künstlichem Seiltanzen angeregt. Dabei wurden die dynamischen Beanspruchungen der Bauelemente ermittelt und mechanisch wirkende Dämpfungsmaßnahmen getestet.

Auf betriebenen Freileitungen wurden über mehrere Jahre einige ausländische Dämpfungsmethoden, u. a. auch aerodynamisch wirkende, praktisch erprobt. Auf Grund der gesammelten Erfahrungen wurde von uns ein Verfahren zur sicheren Verhinderung von Seiltanzstörungen durch die Anordnung von Separatoren in den Spannfeldern entwickelt, getestet und in die Praxis eingeführt.

Bei den Freileitungsversuchen wurden insbesondere die schwingungsdämpfenden Eigenschaften von Separatoren bei verschiedenen Anordnungen und die mechanischen (dynamischen) Beanspruchungen in den Separatoren selbst ermittelt. Aus diesen Ergebnissen wurden die in den nachfolgenden Bildern gezeigten optimalen Separatorenanordnungen abgeleitet [1].

Bild 1 zeigt die Draufsicht auf ein Spannfeld mit zwei Separatoren, die in den Drittelpunkten der Spannweite angeordnet sind und im allgemeinen kürzer sind, als die Entfernung zwischen den Leitern. Dadurch erfolgt eine geringe Vorspannung der gekoppelten Seilsysteme, die sich dämpfend für alle Seilbewegungen auswirkt.

Im Bild 2 ist die Anordnung von Separatoren beim Donau-Mastbild nur zwischen den unteren beiden Leitern dargestellt. Im Falle des Seiltanzens des oberen Leiters ist zu den schwingungsgehemmten unteren Leitern ein ausreichender Abstand vorhanden.

Im Bild 3 sind beim Horizontalmastbild auch nur 2 Separatoren angeordnet, und zwar im Wechsel zwischen den äußeren Leitern und dem mittleren Leiter. Obwohl der mittlere Leiter stärker beansprucht wird, ist die Durchhangsdifferenz zu den äußeren Leitern nur gering.

Das Bild 4 zeigt die Anordnung von zwei schrägen Separatoren beim Donaumastbild, die jedoch nur in besonderen Fällen angewendet wird.

Ing. *Dieter Langmacker* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Forschung und Entwicklung des VE Kombinates Verbundnetze Energie.

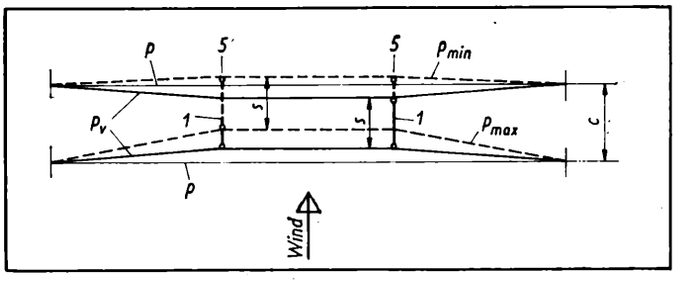


Bild 1. Draufsicht auf ein Spannungsfeld mit zwei Separatoren
Bild 3. Anordnung von zwei Separatoren beim Horizontalmastbild ▶

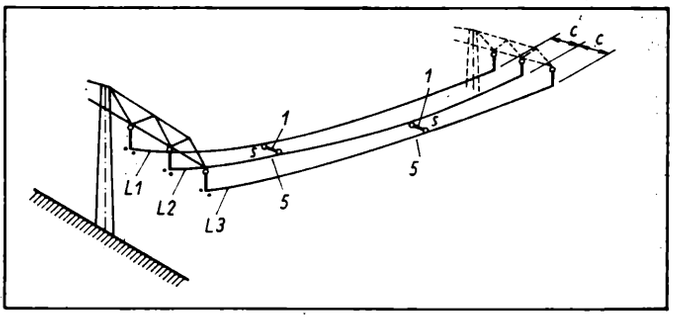


Bild 2. Anordnung von Separatoren beim Donau-Mastbild zwischen den beiden unteren Leitern

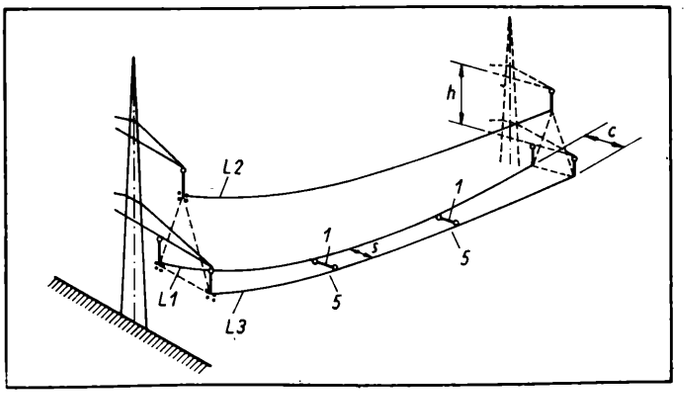
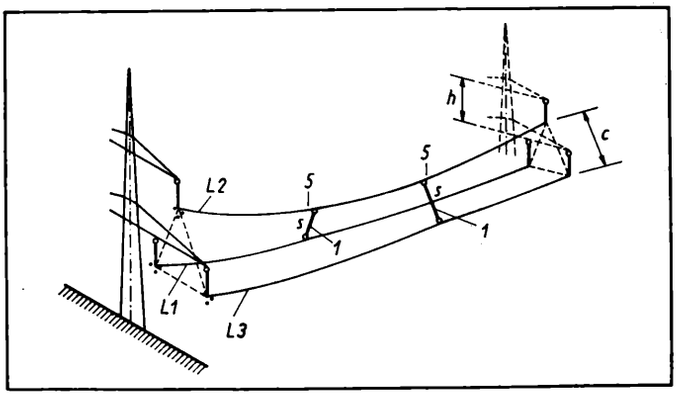


Bild 4. Anordnung von zwei schrägen Separatoren beim Donau-Mastbild



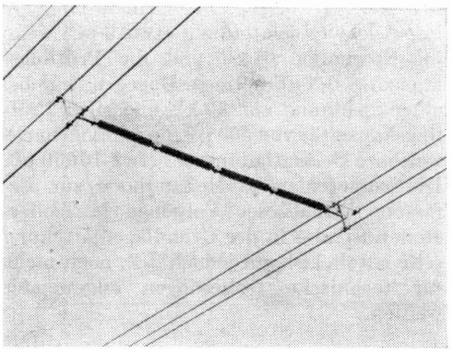


Bild 5. Serienmäßig eingebauter 380-kV-Separator für Dreiseilbündel in einem seiltanzgefährdeten Freileitungsabschnitt

Die Isolierstrecke der Separatoren besteht aus Langstabisolatoren, die aus hochfestem Porzellan hergestellt sind, und deren Flansche mit vergüteten Schrauben verbunden werden. Jeder Isolierkörper wird einem starken Biege-Prüftest unterworfen, wobei ein konstantes Biegemoment über die gesamte Stablänge und in jeder Einbaulage (also umlaufend) aufgebracht wird.

Die Dimensionierung der Separatoren einschließlich der Anschlußarmaturen an die Seilbündel erfolgt auf der Grundlage neuer Berechnungsverfahren. Die mechanischen Typprüfungen werden auf einem speziellen Schwingungsstand der Technischen Universität Dresden durchgeführt. Die elektrischen Prüfungen erfolgten im Prüffeld des Kombinates Keramische Werke Hermsdorf. Die Durchhangsveränderungen eines Freileitungsabschnittes werden mit einem Computer berechnet.

Die seit 1979 im 220/380-kV-Netz der DDR installierten Separatoren haben sich gut bewährt [2]. Der serienmäßige Einbau in alle seiltanzgefährdeten Freileitungsabschnitte ist in vollem Gange (Bild 5). Die Montage auf den mit Zweiseil-, Dreiseil- und Vierseilbündeln ausgerüsteten Freileitungen erfolgt auf der Grundlage spezieller Montagetechnologien im allgemeinen vom Seilwagen aus und wird vorwiegend als „Arbeiten unter Spannung" ausgeführt. Es wurden spezielle Arbeitsmittel entwickelt.

Neben dieser Lösung, die das Auftreten von langwelligen Leiterseilschwingungen verhindert, führen wir in bestimmten Netzabschnitten eine Netzschutzlösung ein, die die Auswirkungen solcher Schwingungen reduziert. Dabei handelt es sich um eine spezielle Form der „Automatischen Wiedereinschaltung" (AWE), die auf die typischen Kurzschlüsse infolge Seiltanzens zugeschnitten ist und mit der ein großer Teil der Fehler ohne Abschaltung der betroffenen Leitung beseitigt werden kann. Bisherige Erfahrungen mit dem Einsatz dieser Geräte belegen, daß innerhalb der Seiltanzperioden eine erhebliche Verbesserung der Sicherheit der Übertragung aufgetreten ist.

Literatur

[1] *Langmacker, D.; Lange, W.; Stegemann, G.:* Vorrichtung zum Abstandhalten und deren Anordnung zwischen parallelen elektrischen Leitern. Wirtschaftspatent Nr. 208434

[2] *Langmacker, D.:* Einsatz von Separatoren auf Freileitungen zur Verhinderung von Störungen durch Seiltanzen. Vortrag anläßlich des IX. KDT-Kolloquiums des VEB Verbundnetz Elektroenergie am 27./28. 4. 1984 in Berlin

EA 1905

BUCHER

Lichtleitertechnik in der Automatisierungstechnik

Reihe Automatisierungstechnik, Band 211

Von *H. Fuchs* und *K. Göpel*
Berlin: VEB Verlag Technik 1984.
1. Auflage, 71 Seiten, 56 Bilder, 8 Tafeln
Broschüre 4,80 M.
Bestell-Nr. 553350 5

Durch die Entwicklung der Mikroelektronik und besonders von Mikroprozessoren begann der Übergang von der zentral zur dezentral hierarchisch strukturierten Automatisierungstechnik. Damit entstand als neues Problem für die industrielle Automatisierungstechnik die zuverlässige niedrigpegelige Signalübertragung zwischen Mikrorechnern, Sensoren und Aktoren unter verschiedenen technologischen Umweltbedingungen.

Die in der Nachrichtentechnik zuerst angewendete Nutzung des optischen Bereichs des elektromagnetischen Spektrums durch die geführte Energieübertragung optischer Wellen in Lichtwellenleitern erweist sich als bedeutende Innovationsalternative auch in der elektronischen Automatisierungstechnik.

Mit der vorliegenden Broschüre stellen sich die Autoren das Ziel, diese neue Technik allgemeinverständlich vom Wirkprinzip und der Systemgestaltung darzustellen, einige Einsatzfälle zu beschreiben sowie einige zukünftige Entwicklungsrichtungen abzustecken. Hierbei wird gemäß der Aufgabenstellung grundsätzlich nur die Signalübertragung auf optischer Basis als ein wesentliches Teilgebiet der Lichtleitertechnik in der Automatisierungstechnik behandelt. In übersichtlicher Form werden ohne Anspruch auf theoretische und physikalische Vollkommenheit folgende Gebiete behandelt: Grundlagen der Lichtleitertechnik, Baugruppen der optischen Signalübertragungssysteme, Lichtleiterübertragungssysteme, Montage- und Servicetechnik, Grundlagen des Entwurfs von Signalübertragungssystemen, zwei spezielle Anwendungsfälle in der Meß- und Automatisierungstechnik.

Entsprechend dem Anliegen der Broschüre werden die optischen Sensoren, die integrierte optische Technik und auch die optische Energieübertragung für automatisierte technologische Prozesse nicht behandelt.

Mit der Broschüre wurde ein nützlicher Beitrag für das Verständnis und die Einsatzvorbereitung dieser neuen Technologie zur Signalübertragung in der industriellen Automatisierung geleistet. Sie stellt eine sinnvolle Ergänzung zu dem ebenfalls im VEB Verlag Technik erschienenen Band „Einführung in die Lichtleitertechnik" von Autor *Glaser* dar.

Die Broschüre kann nicht nur dem auf diesem Fachgebiet tätigen Spezialisten, sondern auch allen in Ausbildung, Lehre und Forschung tätigen Interessenten für diese begeisternde Technik empfohlen werden.

D. Engelage, Zittau EA 1920

Boolesche Gleichungen

Theorie, Anwendungen, Algorithmen

Von *D. Bochmann, A. D. Zakrevskij, Ch. Posthoff.* Berlin: VEB Verlag Technik 1984.
238 Seiten, 56 Bilder, 44 Tafeln, Pappband, 38,— Mark
Bestell-Nr. 553324 9

Boolesche Gleichungen stellen nach wie vor ein interessantes und wichtiges Gebiet dar. Ihre Bedeutung reicht von der Analyse und Synthese (Entwurf) digitaler Schaltungen, Steuerungen und Recheneinrichtungen, über die Behandlung von Graphen und Netzen bis hin zur diskreten Optimierung. Selbst bei der Beherrschung großer Systeme, der Softwaregestaltung logischer Funktionen bzw. Steuerungen oder der Intelligenzintensivierung von logischen Systemen finden sie ihren Platz. Deshalb ist das Ziel, in einem Sammelband einen repräsentativen Überblick über die heute zentralen Probleme auf dem Gebiet der Booleschen Gleichungen darzustellen, bedeutungsvoll.

Das Buch ist in weiten Bereichen als theoretisch gehaltenes Grundlagenwerk konzipiert, findet jedoch in einigen Abschnitten auch einen gleitenden Übergang zu praktischen Aufgabenstellungen. So werden neben Grundfragen der Terminologie und Begriffsbildung die mathematisch interessante Grapheninterpretation, die Komplexproblematik, die Booleschen Differentialgleichungen auch Strukturen von Automatensystemen unter Einbeziehung sprachlich-struktureller Aspekte und Dekompositionsalgorithmen bis hin zur Analyse und Synthese digitaler Systeme behandelt.

Rechentechnische Erfahrungen beim Arbeiten mit Booleschen Gleichungen, Analysemethoden logischer Systeme und Schaltungen, die Lösung von Kodierungs- und Dekodierungsaufgaben sowie der Einsatz der Gleichungen zur Programmierung von Steuerungen runden das Bild ab.

Die breit angelegte Darstellung charakterisiert die Universalität des verwendeten Werkzeuges und zeichnet das Buch aus.

Die Dreiteilung in den Darlegungen, aus der der Untertitel „Theorie, Anwendung, Algorithmen" des Bandes entstand, kommt, über alle Abschnitte betrachtet, zur Geltung.

Ein gut gegliedertes und repräsentantes Literaturverzeichnis ermöglicht das im Buch angeregte tiefere Eindringen in die Thematik. Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, daß der vorliegende Sammelband eine solide Darstellung zu aktuellen Problemen des Gebietes der Booleschen Gleichungen repräsentiert und Theoretikern als auch Praktikern interessante Anregungen vermittelt. Dem entspricht nicht zuletzt die Beteiligung von Autoren unterschiedlicher Schulen des In- und Auslandes.

K. Heß, Karl-Marx-Stadt EA 1916

Энгелаге, Д.: **Световодная система передачи информации электроснабжения**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 4, стр. 125—126, 2 рис., 7 лит.

Разработка световодов с незначительными значениями затухания, высокой термоустойчивостью и высокой электрической прочностью создала технологические условия, необходимые для изготовления кабелей и воздушных линии на световодах для целей передачи электроэнергии и информации. Рассматриваются состояние и вытекающие из этого возможности световодных систем передачи информации.

Биркеншток, Н.: **Двунаправленные многосветоводные системы**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 4, стр. 126—129, 7 рис., 2 табл., 5 лит.

Исходя из высоких требований, предъявляемых к эксплуатационной надежности световодного оборудования передачи данных в энергоустановках разрабатываются избыточные двунаправленные многосветоводные системы, которые проанализируются при помощи Маркова модели в части их характеристики отказов.

Тишер, К.: **Воздействия на световодные линии передачи в энергоустановках**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 4, стр. 129—131, 12 рис., 3 лит.

Пригодность применения технических средств информации в технике автоматизации непосредственно связана с проблематикой надежности и помехоустойчивости их. В статье рассматриваются типичные характеристики современных оптоэлектронных компонентов техники автоматизации в условиях эксплуатации их в энергоустановках.

Шпангенберг, П.: **Анализ ошибок на световодных линиях передачи в энергоустановках**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 4, стр. 132—134, 4 рис., 1 табл., 7 лит.

Исходя из требований на надежность, предъявляемых к микроэлектронным средствам автоматизации в электроустановках разрабатывается макетная схема, при помощи которой обеспечивается возможность проведения анализа ошибок при передаче по световодным линиям. При этом специально рассматривается влияние многократных ошибок на способ защиты от ошибок типа CRC-16.

Харт, Х.: **Возможности и проблемы совместимых со световодами чувствительных элементов для неоптических величин**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 4, стр. 134—137, 8 рис., 27 лит.

За последние годы были созданы быстродействующие и надежные методы обработки информации. Отсюда вытекает требование на расширение возможностей и в области сбора информации. Обозревательная статья дает информацию предпочтительно по волоконно-оптическим чувствительным элементам и рассматривает возможности их применения.

Броде, Ф.: **Световоды для передачи на коротких расстояниях**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 4, стр. 138—140, 8 рис., 1 табл., 2 уравн., 4 лит.

Для передачи на коротких расстояниях требуются недорогие и простые в обращении с ними световоды. Разработанные для данной области применения световоды из кварцевого стекла по сравнению с градиентными световодами отличаются другими свойствами передачи. Представляются оптические свойства данных световодов со ступенчатым показателем преломления.

Брунке, В.: **Техника световодных соединений**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 4, стр. 140—143, 8 рис., 4 лит.

В статье дается описание отдельных процессов при сварке световодов. Основное внимание уделяется описанию приспособления для скола световодов и сварочного устройства, разработанных н. п. Комбинат Кабельверк Обершпрее (КВО) имени Вильгельма Пика. Обсуждается проблема затухания на сварном сростке.

Броде, Ф.: **Методы воспроизводимого измерения многомодовых световодов**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 4, стр. 143—146, 9 рис., 9 лит.

Дается краткое обозрение по методам измерения для определения оптических свойств световодов (затухания, дисперсии, профиля показателя преломления, числовой апертуры).
Обсуждаются меры, направленные на получение близких к практике и воспроизводимых результатов измерений.

Вурбс, Г.; Кука, Г.: **Интерферометрическое испытание световодных заготовок**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 4, стр. 147—148, 2 рис., 2 табл., 3 уравн., 2 лит.

Представленый способ испытания показывает изменения профиля показателя преломления вдоль заготовки. Совмещение измерения профиля показателя преломления на некоторых местах со способом испытания согласно рис. 1 характеризует качество заготовки.

Фищер, Ф.; Ретцлаф, В.: **Моделирование схем мощной электроники с помощью программируемых миниатюрных ЭВМ, часть 4 и окончание**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 4, стр. 149—153, 3 рис., 2 табл., 3 уравн.

Программируемые карманные калькуляторы, бытовые и персональные компьютеры открывают новые возможности перед цифровым моделированием схем мощной электроники.
В четвертой, заключительной части статьи представляется программа на языке Бейзик для модели выпрямителя и применяется в связи с типичными нагрузочными схемами.

Engelage, D.: **Light Wave Guide Information System of the Electric Energy Supply**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, pp. 125 – 126, 2 Figs., 7 Refs.

The development of light wave guides with low damping, high temperature stability, and high insulating capacity provided for technological conditions of producing cables and overhead transmission lines with light wave guides adapted to transmitting electric energy as well as informations. State and possibilities of the resulting light wave guide information systems are represented.

Birkenstock, N.: **Bidirectional Multi-Core Light Wave Guide Systems**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, pp. 126 – 129, 7 Figs., 2 Tables, 5 Refs.

Starting from the high requirements with regard to the operating reliability of light wave guide data transmission equipments within power plants redundant bidirectional multi-core light wave guide systems for coupling microcomputers are developed and by means of a Markov-model analyzed concerning the failure behaviour.

Tischer, K.: **Influencing Light Wave Guide Pathes in Power Plants**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, pp. 129 – 131, 12 Figs., 3 Refs.

The aptitude of information techniques within the automation techniques is coupled directly with the problems of reliability and disturbance resistance. In this paper on typical behaviour modes of actual optoelectronic components of the automation techniques under the stress conditions of power plants is reported.

Spangenberg, P.: **Fault Analysis of Light Wave Guide Transmission Lines in Electric Energy Plants**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, pp. 132 – 134, 4 Figs., 1 Table, 7 Refs.

Starting from the safety requirements of a microelectronic automation techniques in electric energy plants a test equipment is developed, by means of which an analysis of transmission faults in light wave guide lines may be accomplished. Thereby, especially, the effect of bunch faults on the CRC-16-fault safeguarding method is studied.

Hart, H.: **Possibilities and Problems of Sensors for Non-Optical Sizes Compatible with Lightguides**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, pp. 134 – 137, 8 Figs., 27 Refs.

In the past years quick and reliable methods of the information processing were developed. Thereby increased efforts are required for enhancing also the possibilities within the information retrieval area. In this survey paper, especially, fibre optical sensors for non-optical sizes are represented and the application possibilities of those are discussed.

Brode, F.: **Light Wave Guide Adapted to Short-Range Transmission**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, pp. 138 – 140, 8 Figs., 1 Table, 2 Equations, 4 Refs.

To the short-range transmission light wave guides of low prices are needed, which may be used in a simple manner. The silica glass light wave guides, coated with polymers and developed for that application area, are characterized in comparison to the gradient light wave guides by other transmission properties. The optical transmission properties of these step index light wave guides are represented.

Brunke, W.: **Light Wave Guide Connection Techniques**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, pp. 140 – 143, 8 Figs., 4 Refs.

In this paper the partial processes during welding light wave guides are described. The centre is the description of the cutting mechanism and the welding device of the VEB Kombinat Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck". The problem of the splice damping is discussed.

Brode, F.: **Methods of Reproducable Measurement of Multi-Mode Light Wave Guides**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, pp. 143 – 146, 9 Figs., 9 Refs.

A short survey of measuring methods of determining the optical properties of light wave guides (damping, dispersion, refractive index profile, and numerical aperture) is given. Measures of reaching practicable and reproducable measuring results are discussed.

Wurbs, G.; Kuka, G.: **Interferomatrical Testing of Light Wave Guide Preforms**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, pp. 147 – 148, 2 Figs., 2 Tables, 3 Equations, 2 Refs.

The represented testing method is indicating variations of the index profile along the preform. The combination of measuring the index profile at only a few points and the testing method of fig. 1 are characterizing the quality of the preform.

Fischer, F.; Retzlaff, W.: **Simulation of Circuits of the Powerelectronics by Means of Programmable Microcomputers. Part 4 and Conclusion**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, pp. 149 – 153, 3 Figs., 2 Tables, 3 Equations

Programmable calculators as well as home and personnel computers are offering new possibilities of the digital simulation of powerelectronic circuits. In the fourth, concluding part of this contribution the BASIC-programme of a rectifier model is represented and in connection with typical load circuits used.

Engelage, D.: **Lichtwellenleiter-Informationssystem der Elektroenergieversorgung**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, S. 125 – 126, 2 Bilder, 7 Lit.

Die Entwicklung von Lichtwellenleitern mit geringer Dämpfung, hoher Temperaturbeständigkeit und hoher elektrischer Festigkeit schuf technologische Voraussetzungen für die Fertigung von Kabeln und Freileitungen mit Lichtwellenleitern zur Elektroenergie- und Informationsübertragung. Stand und Möglichkeiten der sich daraus ergebenden Lichtwellenleiter-Informationssysteme werden dargestellt.

Birkenstock, N.: **Bidirektionale Mehrlichtwellenleitersysteme**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, S. 126 – 129, 7 Bilder, 2 Tafeln, 5 Lit.

Ausgehend von den hohen Forderungen an die Betriebszuverlässigkeit von Lichtwellenleiter-Datenübertragungseinrichtungen in Energieanlagen werden redundante bidirektionale Mehrlichtwellenleitersysteme für die Kopplung von Mikrorechnern entwickelt und hinsichtlich ihres Ausfallverhaltens mit Hilfe eines Markov-Modells analysiert.

Tischer, K.: **Beeinflussung von Lichtwellenleiterstrecken in Energieanlagen**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, S. 129 – 131, 12 Bilder, 3 Lit.

Die Eignung von Informationstechniken in der Automatisierungstechnik ist unmittelbar mit der Problematik Zuverlässigkeit und Störungsresistenz verbunden. Im Beitrag werden typische Verhaltensweisen gegenwärtiger optoelektronischer Komponenten der Automatisierungstechnik unter den Beanspruchungsbedingungen von Energieanlagen erörtert.

Spangenberg, P.: **Fehleranalyse an Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken in Elektroenergieanlagen**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, S. 132 – 134, 4 Bilder, 1 Tafel, 7 Lit.

Ausgehend von den Sicherheitsforderungen, die an eine mikroelektronische Automatisierungstechnik in Energieanlagen gestellt werden, wird ein Versuchsaufbau entwickelt, mit dessen Hilfe eine Analyse von Übertragungsfehlern auf Lichtwellenleiterstrecken durchgeführt werden kann. Dabei wird speziell die Wirkung von Bündelfehlern auf das CRC-16-Fehlersicherungsverfahren untersucht.

Hart, H.: **Möglichkeiten und Probleme lichtwellenleiter-kompatibler Sensoren für nichtoptische Größen**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, S. 134 – 137, 8 Bilder, 27 Lit.

In den vergangenen Jahren wurden schnelle und zuverlässige Methoden der Informationsverarbeitung geschaffen. Das erfordert erhöhte Anstrengungen, um auch im Bereich der Informationsgewinnung die Möglichkeiten zu erweitern. Im Übersichtsbeitrag werden vorzugsweise faseroptische Sensoren für nichtoptische Größen vorgestellt und deren Applikationsmöglichkeiten diskutiert.

Brode, F.: **Lichtwellenleiter für Kurzstreckenübertragung**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, S. 138 – 140, 8 Bilder, 1 Tafel, 2 Gln., 4 Lit.

Für die Kurzstreckenübertragung werden preisgünstige und leicht handhabbare Lichtwellenleiter benötigt. Die für dieses Anwendungsgebiet entwickelten polymerbeschichteten Kieselglas-Lichtwellenleiter zeichnen sich gegenüber den Gradienten-Lichtwellenleitern durch andere Übertragungseigenschaften aus. Es werden die optischen Übertragungseigenschaften dieser Stufenindex-Lichtwellenleiter vorgestellt.

Brunke, W.: **Lichtwellenleiter-Verbindungstechnik**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, S. 140 – 143, 8 Bilder, 4 Lit.

Im Beitrag werden die Teilprozesse beim Schweißen von Lichtwellenleitern beschrieben. Schwerpunkt ist die Beschreibung der Trennvorrichtung und des Schweißgerätes vom VEB Kombinat Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck". Das Problem der Spleißdämpfung wird diskutiert.

Brode, F.: **Methoden zur reproduzierbaren Messung von Vielmoden-Lichtwe'lenleitern**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, S. 143 – 146, 9 Bilder, 9 Lit.

Es wird ein kurzer Überblick über Meßmethoden zur Bestimmung der optischen Eigenschaften von Lichtwellenleitern (Dämpfung, Dispersion, Brechzahlprofil und Numerische Apertur) gegeben. Maßnahmen zur Erzielung praxisnaher und reproduzierbarer Meßergebnisse werden diskutiert.

Wurbs, G.; Kuka, G.: **Interferometrische Prüfung von Lichtwellenleiter-Preformen**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, S. 147 – 148, 2 Bilder, 2 Tafeln, 3 Gln., 2. Lit.

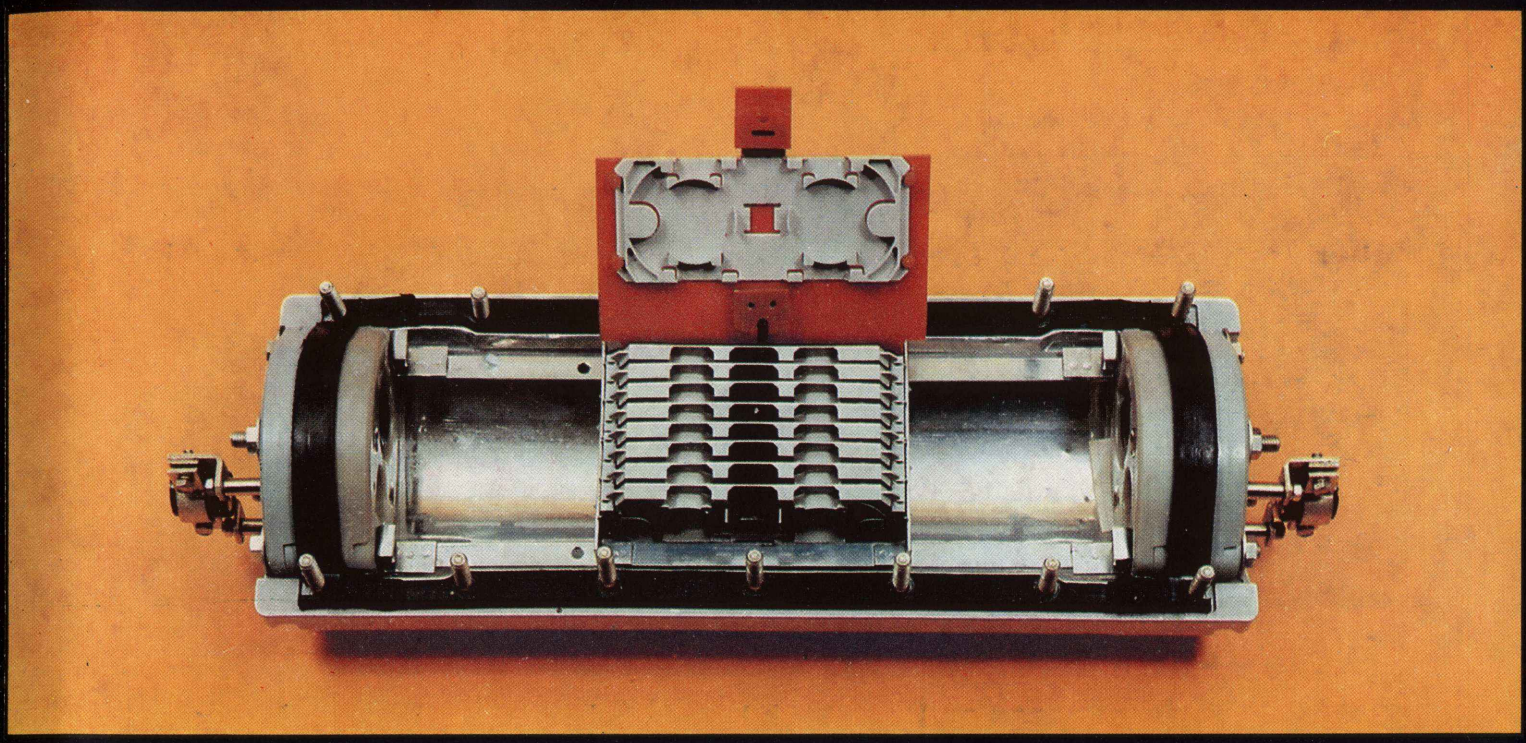
Das vorgestellte Prüfverfahren zeigt Änderungen des Indexprofils längs der Preform an. Die Kombination aus Messungen des Indexprofils an wenigen Stellen und das Prüfverfahren nach Bild 1 charakterisieren die Qualität der Preform.

Fischer, F.; Retzlaff, W.: **Simulation von Schaltungen der Leistungselektronik mit Hilfe programmierbarer Kleinstrechner. Teil 4 und Schluß**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 4, S. 149 – 153, 3 Bilder, 2 Tafeln, 3 Gln.

Programmierbare Taschenrechner, Heim- und Personalcomputer eröffnen der digitalen Simulation leistungselektronischer Schaltungen neue Möglichkeiten. Im vierten, abschließenden Teil des Beitrages wird das BASIC-Programm eines Gleichrichter-Modells vorgestellt und in Verbindung mit typischen Lastschaltungen angewendet.

Herausgeber	Kammer der Technik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 2 87 00; Telex: 011 22 28 techn dd
Verlagsdirektor	Dipl. oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 28 70 34 5) Dipl.-Ing. *Wolfgang Rönspieß*, Redakteur (Telefon: 28 70 343)
Gestaltung	*Ursula Maria Lange* (Telefon: 28 70 287)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf 7122 Borsdorf
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157, Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abb'ildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propagandit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11 a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS – Ústrédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohradská 41, 125 05 Praha PNS, Ústred na Expedicia Tiače, Gottwaldovo nám. 48, 88 419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407,, Ciudad Habana
VR Polen	C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei si Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucuresti
UdSSR	Städtische Abteilung von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141 – 167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs GmbH & Co, KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29



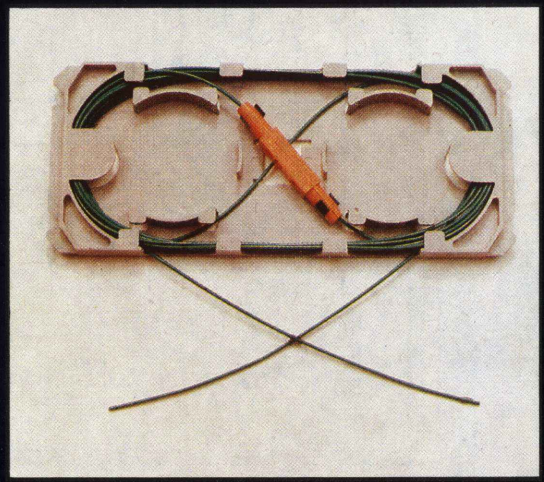
Lichtwellenleiter-Verbindungstechnik aus dem Kombinat VEB KWO Berlin

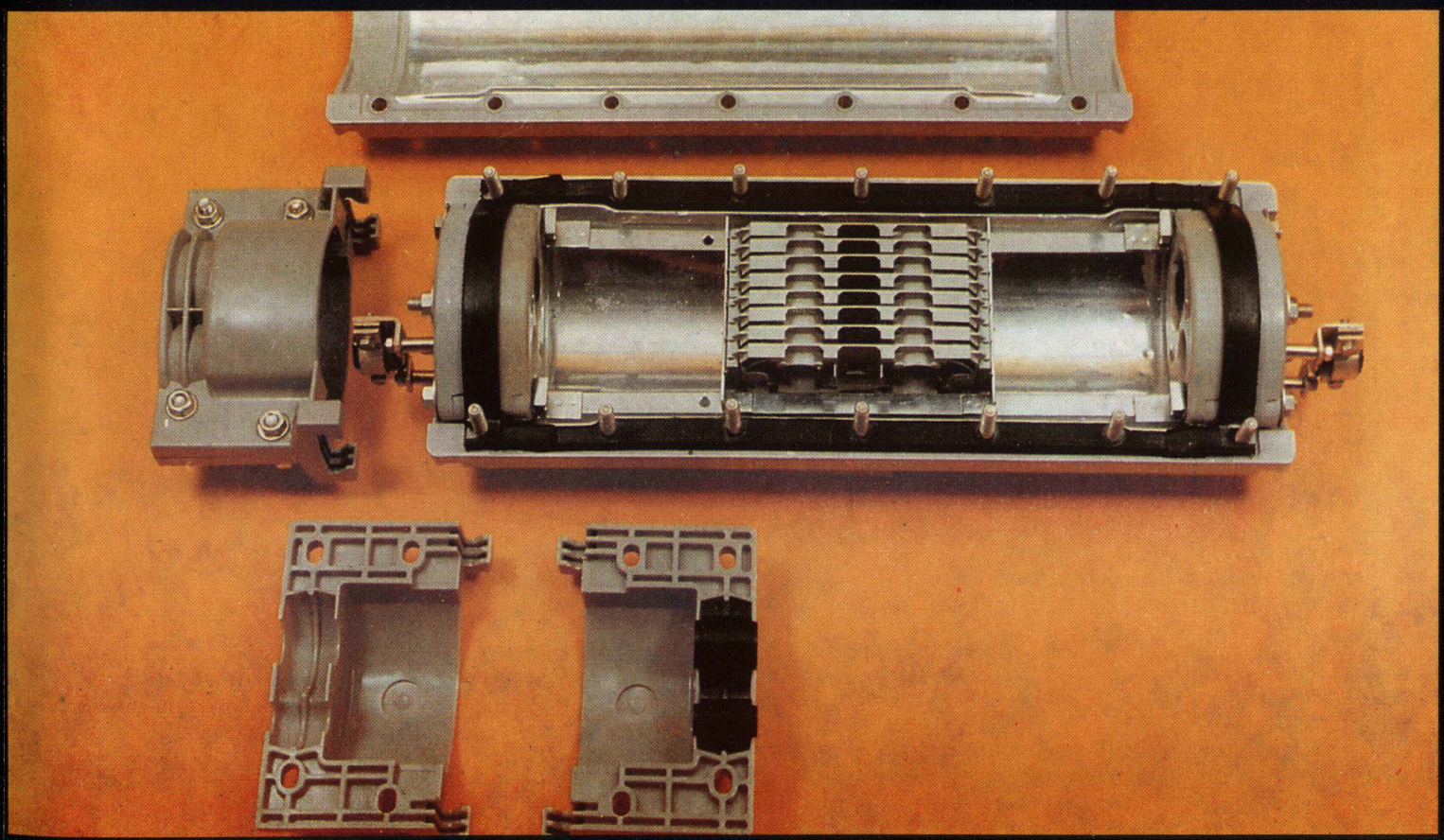
Näheres dazu finden Sie in unseren Beiträgen auf S. 140 bis 143 und auf S. 148. Beachten Sie auch die 2. US.

Bild 1. (oben) Verbindungsmuffen LM 8 mit Montagevorrichtung

Bild 2. (rechts) Lichtwellenleiter-Verbindungsstelle in einer Kassette für Lichtwellenleiter-Vorrat

Bild 3. (unten) Verbindungsmuffe LM 8 nach TGL 55153 für 8adrige LWL-Kabel

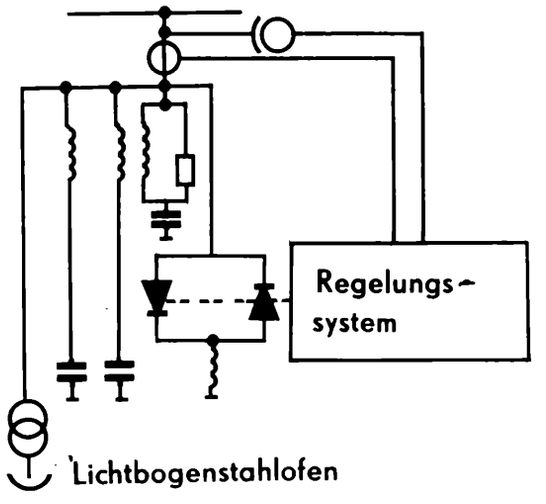




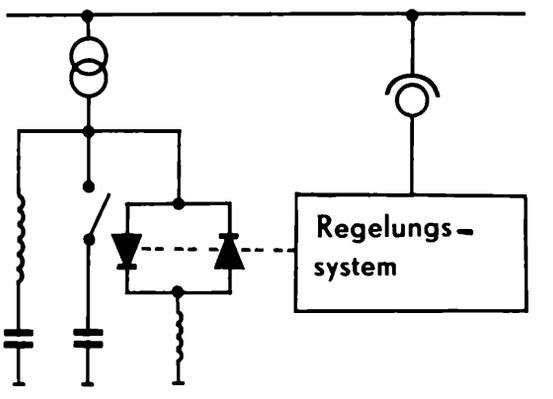
ISSN 0013—5399
ELEKTRIE · Berlin 39 (1985) 4 · S. 121—160

0730 4 177 027 465
KOMB KERAN WERKE
8612 7041 C156 PF
238

Gibt es bei Ihnen Probleme mit:



Lichtbogenstahlofen



- der Bereitstellung an zusätzlicher Blindleistung
- Spannungsschwankungen
- Harmonischen
- dem Flickereffekt
- Belastungsverstimmungen
- schneller Änderung der Blindbelastung,

so lassen sie sich alle durch Verwendung von hochwirtschaftlichen
STATISCHEN
THYRISTORKOMPENSATOREN
lösen.

Hauptanwendungsgebiete:
Energiesysteme; industrielle Stromversorgungsnetze mit stark veränderlichen Stoßbelastungen und nichtlinearen Belastungen – wie dies bei Thyristor geregelten Antrieben der Fall ist –; Stromversorgungsnetze für Walzwerke; Lichtbogenstahlöfen; Elektrolyseanlagen in der Buntmetallurgie, der chemischen Industrie usw.

Exporteur:
V/O ENERGOMACHEXPORT
UdSSR, 127486, Moskau
Deguninskaja Ul. 1, Korp. 4
Telefon: 487-31-82
Telex: 411965 ENEK SU
411926 ENEK SU

ENERGO™
FOREIGN TRADE ASSOCIATION
ENERGOMACHEXPORT
MOSCOW USSR